



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## LYS + ENERGI + ARKITKETUR

*Holistisk produktkatalog med transparente solceller*

Hansen, Ellen Kathrine; Hilbert, Thomas; Munk, Lærke

*Publication date:*  
2008

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Hansen, E. K., Hilbert, T., & Munk, L. (2008). *LYS + ENERGI + ARKITKETUR: Holistisk produktkatalog med transparente solceller*. <http://rum1.aarch.dk/index.php?id=106126>

### General rights

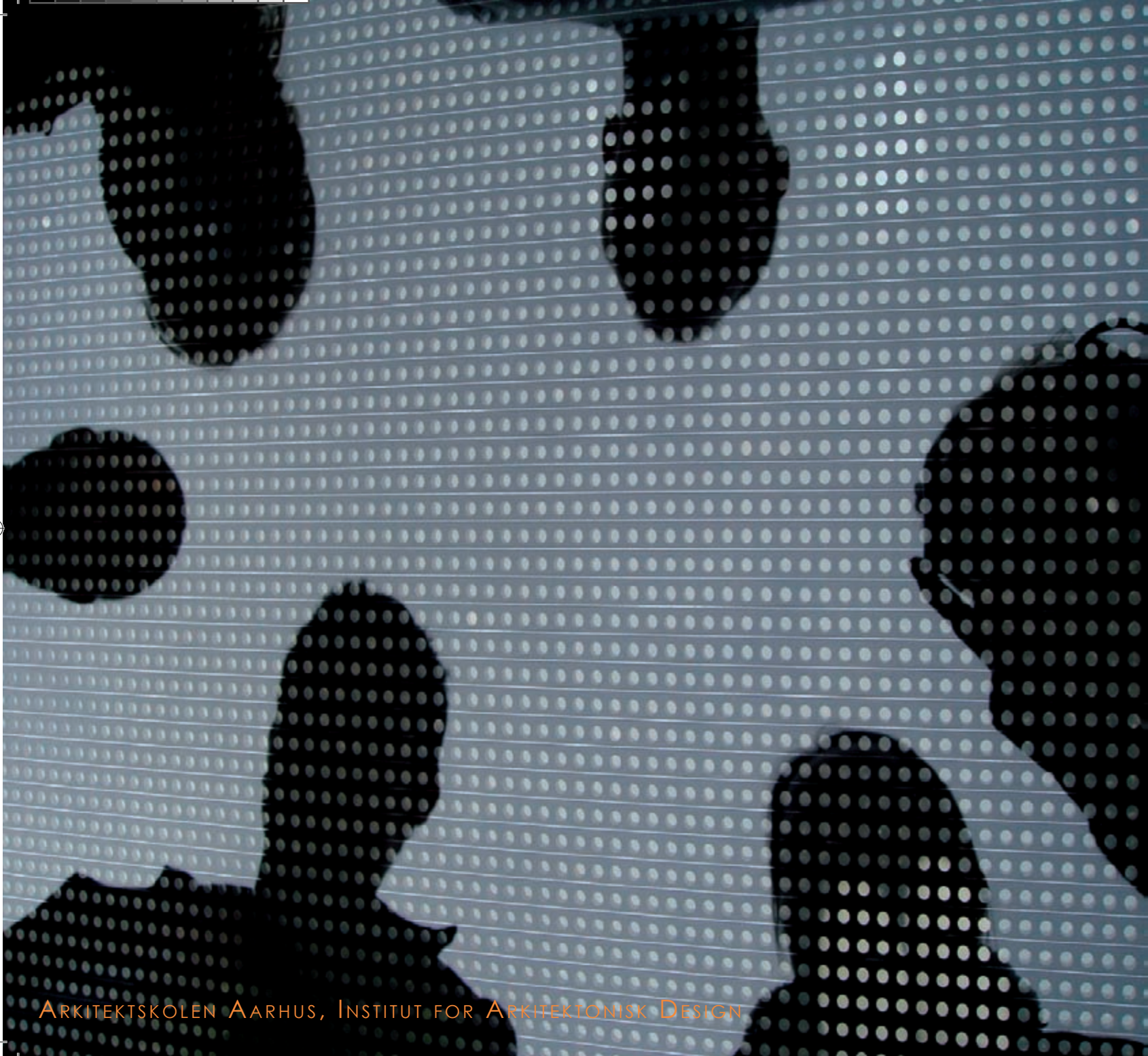
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.





ARKITEKTSKOLEN AARHUS, INSTITUT FOR ARKITEKTONISK DESIGN



POTENTIALER I TRANSPARENT SOLCELLER

# LYS + ENERGI + ARKITEKTUR





Denne publikation er udarbejdet på Institut V, Institut for Arkitektonisk Design,

ARKITEKTSKOLEN AARHUS

TEKST: ELLEN KATHRINE HANSEN, lektor, arkitekt MAA, ansvarlig  
THOMAS R. HILBERTH, PhD, Dipl. Arch. ETH/SIA/MAA  
LÆRKE MUNK, cand. arch, studentermedhjælper

FOTOGRAFI: AAGE LUND JENSEN, lektor, arkitekt MAA  
Studerende ved workshoppen  
ELLEN KATHRINE HANSEN, lektor, arkitekt MAA

LAYOUT: THOMAS R. HILBERTH, PhD, Dipl. Arch. ETH/SIA/MAA  
TRYK: XPonCard/As, Danmark

TAK til samarbejdsparterne i forskningsprojektet LYS & ENERGI for input og sparring,  
Energinet.dk for finansiering af forsknings-projektet,  
Institut for Arkitektonisk Design for at give os tid  
og ikke mindst de studerende der deltog i workshoppen med stor entusiasme.

Projektets tekniske rapporter, afrapportering samt denne publikation findes på  
[www.lea.aarch.dk](http://www.lea.aarch.dk)







POTENTIALER I TRANSPARENT SOLCELLER

LYS +

ENERGI +

ARKITEKTUR



Lysstudie - det kommunikerende rum, workshop nov. 07, AAA

INDHOLD

0.	FORORD	4
	INTRODUKTION	6
1.	MATRIX	10
	Metode til karakterisering af solceller	
2.	TRANSPARENS	18
	Begreb til definering af æstetiske potentialer	
3.	SOLCELLER	26
	Et udviklingsperspektiv	
4.	PRODUKTOVRSIGT	30
	6 Komponenter, målt og vurderet	
5.	WORKSHOP	64
	Lys + Energi + Arkitektur	
	APPENDIX	68
	Begreber	
	Litteratur	
	Workshopdeltagere	
	Projektmedarbejdere	





## FORORD

### MELLEM POESI OG NATURVIDENSKAB

Solenergi er en vedvarende energi der frigøres ved term nukleare processer i solen, hvoraf en lille del når jorden i form af elektromagnetiske stråling - varme og lys. Blandt arkitekter og ingeniører har der længe været en interesse for at arbejde intensiveret med solenergi. Et eksempel på denne hensigt er READ Charteret fra 1996 som omhandler en bæredygtig udvikling af arkitekturen i Europa. I forbindelse med Charteret skrev Norman Foster i forordet til "Solar Power", (Prestel 2000) at den eneste fornuftige måde at bygge på var ved at udvikle solar arkitektur. Solar arkitektur vil kunne kultivere fornyelige energiformer, og derfor være uomgængelig.

En del af vores kulturelle bygningsarv er den tidlige modernistiske arkitekts præference for lyse, transparente bygninger med store glasarealer. Arkitekterne inkluderede i høj grad en forståelse for solen og dagslysets afgørende betydning for det menneskelige velvære.

Om den store lysdyrkelse som man finder i meget af nutidens arkitektur, har lyskunstneren James Turrell sagt: "In general the light beaming into buildings bathes and radiates things with so much light that we can hardly see". ("The Thingness of Light", Symposium I Blacksburg, Virginia. 1996).

De store transparente arealer i nye bygninger giver os udsyn, men undertiden også for stort og udifferentieret lysindfald, samtidig med at glasset efterhånden har fået tildelt en rolle som inaktiv klimaskærm. I sin optagethed af lyset har nutidens arkitektur endnu ikke formået at udnytte/behandle solenergiens varme, hvilket ofte giver indeklimaproblemer i bygningerne. Synssansen har i moderne arkitekts selvforståelse i høj grad været synonym med den æstetiske oplevelse. At æstetikken

omhandler alle sanserne har til dels været underkendt. Mange nye bygninger er skønne for øjet, måske især på billeder; de kan have fine arkitektoniske kvaliteter, men er i virkeligheden ikke behagelige at opholde sig i, de tilbyder hverken komfort eller velvære.

I tidligere tider skabtes der i de bedste bygninger synergier mellem klima, ressourcer og sted. Andre kulturer i andre klimaer har været langt mere sofistikerede end de vestlige til at anvende solens lys og varme, og skabe smukke solafskærmninger, hvor lyset filtreres. I Indien byggede f.eks. mogulerne perforerede vinduesskærme, som med deres filigranagtige mønstre skabte skygge på en harmonisk måde.

Glas er et materiale, vi har kendt meget længe, og hvis egenskaber vi nu forsøger at kombinere med en relativ ny opfindelse - solceller, som omdanner lys og producerer elektricitet, men også kan filtrere lyset, danne skygge og spejlvirkninger.

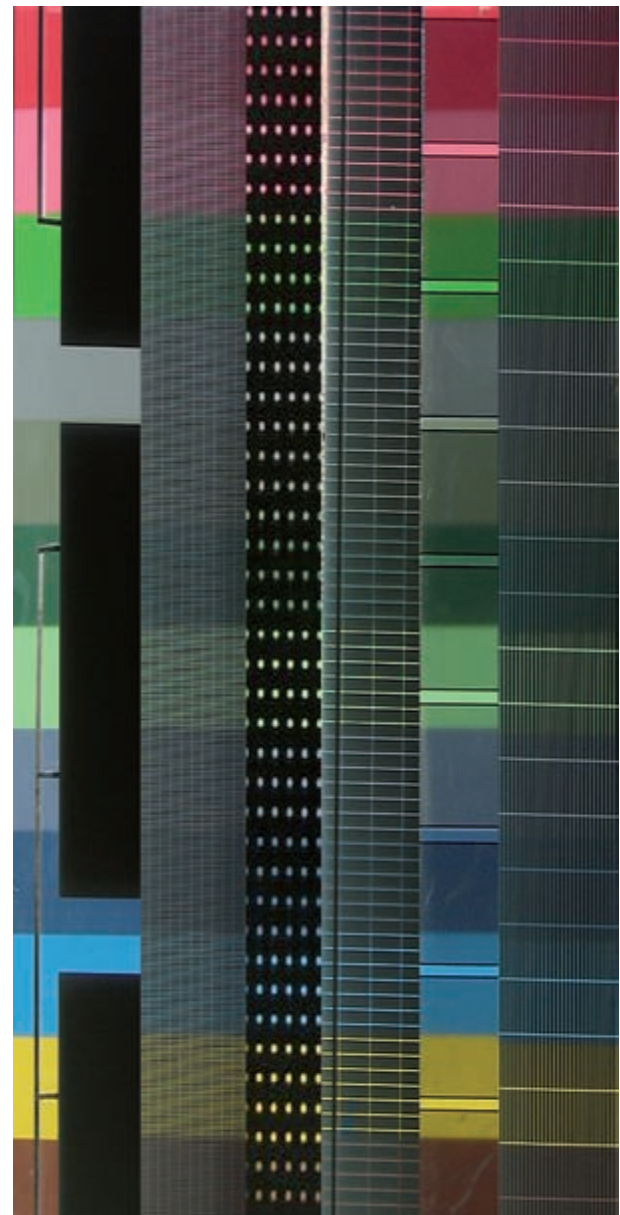
De solceller man arbejder med i arkitekturen i dag, er derivater fra den teknologi, der tog sin begyndelse med rumfarten og opsendelsen af satellitter og rumlaboratorier i det 20' århundrede.

Det at kunne producere energi, i dette tilfælde som elektricitet, ved hjælp af solens vedvarende flow, at høste sol, vil være et interessant, nyt potentiale for byggeteknologien med henblik på at skabe synergier mellem klima, sted og ressourcer/energi. Allerede tidligt i 1970'erne blev der sat en ny dagsorden, idet man erkendte den globale opvarmning og de heraf resulterende ændringer i atmosfæren. Man indså den universelle indflydelse af menneskelige konsummønstre på atmosfæren og dermed på vores miljø. Siden har denne erkendelse ført til fokusering på vekslende aspekter af miljøproblemerne. For tiden er det vores energikonsum og muligheden for at reducere dette, der i fokus.

Den verserende diskussion i samfundet om byggeri og solceller er præget af utilitarisme. Mange mener, at vi helt klart og uden videre må forsyne vores huse med solcellepaneler, forstået som application. Da arkitekturen er en kunstart, og handler om andet og mere end energioptimering, er det derfor, i den sammenhæng, en meget stor udfordring at udvikle arkitektoniske løsninger og designs, der kan imødekomme behovet for et optimalt brug af vedvarende energi.

Det er en dristig, interessant og meget aktuell arkitektonisk men også samfundsmæssig problemstilling, som workshoppen tager op. Samtidig med at idegrundlaget overordner sig til energidebatten har det tværfaglige samarbejde specifikt handlet om at forene arkitektoniske og æstetiske synspunkter med solteknologi i form af forskellige, udvalgte solcellepaneler. Ved at sammenbringe et kunstnerisk felt med et naturvidenskabelig felt i forsøg med rumstore modeller, kan disse opleves, vurderes arkitektonisk og måles med naturvidenskabelige metoder.

Med denne workshop har vi på Arkitektskolen Aarhus bevæget os ind på nye veje i undervisningen. Ud fra den betragtning at det bliver arkitekturens rolle, at sammentænke og udforme smukke forslag til at forene LYS + ENERGI + ARKITEKTUR er der opnået resulater, som ved videreudvikling kan få stor betydning i forhold til det fremtidige byggeri. Det eksisterende byggeri som også energimæssigt skal opdateres, vil ved renovering også kunne drage stor nytte af den udvikling, som er påbegyndt med workshoppen.



Studier af solcellerudernes transparens, SBi, Juni 2007  
Collage



Studie i transparens, "glasskår i rude", workshop nov. 01, KA

## INDLEDNING

### TRANSPARENTE TYNDFILM-SOLCELLERS ARKITEKTONISKE POTENTIALE

Af ELLEN KATHRINE HANSEN, lektor, arkitekt MAA

*En af de mest nødvendige og aktuelle udfordringer i forhold til arkitekturskabelse er udviklingen af og forståelsen for udnyttelsen af vedvarende energiteknologier som nye elementer i arkitekturen. Derfor denne publikation, der skal inspirere og udfordre til at:*

- forvandle energiteknologi til arkitektoniske potentialer
- skabe visioner om dagslysets potentialer i energidebatten
- udvikle nye strategier for tværfagligt samarbejde

I kølvandet på klimadiskussionen er energidebatten blevet intensiveret og vi bliver dagligt konfronteret med de på en gang nærværende og abstrakte udfordringer vi står overfor. Vi skal nedbringe brugen af fossile brændstoffer og mindske udledningen af drivhusgasser. Energiforbruget til opførelse og drift i vores bygninger i vesten udgør ca. halvdelen af vores samlede energiforbrug, hvorfor denne udfordring er ekstra nærværende for byggebranchen.



Vi ved imidlertid at solen, i et vedvarende flow leverer ca. 15.000 gange mere energi til jordkloden end vores samlede energibehov. Energidebatten åbner derfor spændende muligheder for at udvikle strategier og teknologier, hvor vores bygninger for alvor 'høster' solens energi og fremkalder sollysets tekniske og ikke mindst æstetiske potentialer i arkitekturen.

Transparente solceller kan ud over at omdanne solens energi til elektricitet integreres i glasfacader og derved også regulere indeklima og dagslysindtag. Ikke mindst kan solceller fremkalde helt nye dimensioner i glasfacadens udtryk ved at fremhæve glassets vitalitet og potentialer for lystes spil i materialet.

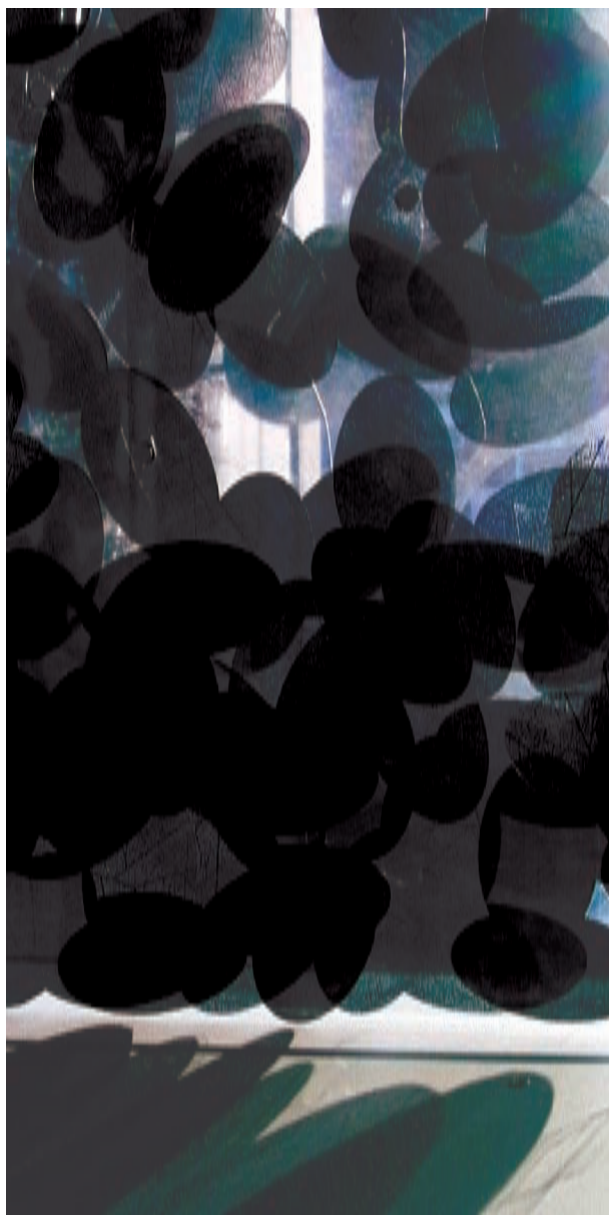
På Arkitektskolen Aarhus har vi gennem de sidste 8 år arbejdet med projekter, hvor vi med solceller som medium, har udviklet strategier for hvordan nye energiteknologier kan skabe arkitektoniske potentialer.

Projekterne 'SOLcelle og -lys, et arkitektonisk potentiale', 'Transparente solceller – fremtidens solafskærmning' og 'Solcellehus' omhandler udviklingen af strategier for hvordan dagslyset sammen med solcellekomponenter kan fremkalde meget mere end blot at producere energi. Disse projekter har primært haft fokus på definering af visioner for æstetiske udtryk for fremtidens teknologier med lyset og glasset som medium.



Studie i transparens, "tegn", workshop nov. 01, KA





Fremtidens mobile og organiske solceller, workshop april 2005 AAA

Nu er udviklingen af tyndfilmsolcelleteknologier så langt fremme, at vi kan kortlægge det internationale kommercielle marked og analysere og sammenstille de mest interessante lysfiltrerende tyndfilmteknologier. Derved defineres disse solcellernes tekniske og arkitektoniske potentialer i et langt mere holistisk perspektiv end de traditionelle produktpræsentationer med fokus på ydelse og pris.

Dette har været baggrunden for det tværfaglige forskningsprojekt 'LYS & ENERGI solceller i transparente facader'<sup>1</sup>. Solcellernes lysfiltrerende og gennemsligtige egenskaber er målt og dokumenteret i lyslaboratorier på Statens Byggeforskningsinstitut, de termiske og energiproducerende egenskaber er målt på Teknologisk Institut, VELFAC Vinduer har analyseret markedet for solcelleintegrerede vinduer og på Arkitektskolen Aarhus har vi bl.a. gennem workshoppen LYS + ENERGI + ARKITEKTUR i november 2007 defineret solcellernes æstetiske potentialer og sammenstillet dem med de tekniske værdier .

Projektets resultater er her sammenfattet med et arkitektonisk objektiv, hvor vi forsøger at udfordre arkitekturforskningens spændingsfelt mellem kunst, videnskab og praksis. Vi har derfor sammenstillet arkitekturteoretiske tekster om metode og begreber med produktspecifikationer, der indeholder såvel konkrete tekniske målinger som abstrakte æstetiske øvelser.





Om publikationen læses, bladres eller bruges som katalog skulle den gerne give et billede af hvad vi har på hjertet - at byggeri kan være energiproducerende ved at høste solens energi direkte og derved skabe nærvær og balance mellem bygningens energiproduktion og -forbrug; mellem teknologi og æstetik; mellem menneske og natur.

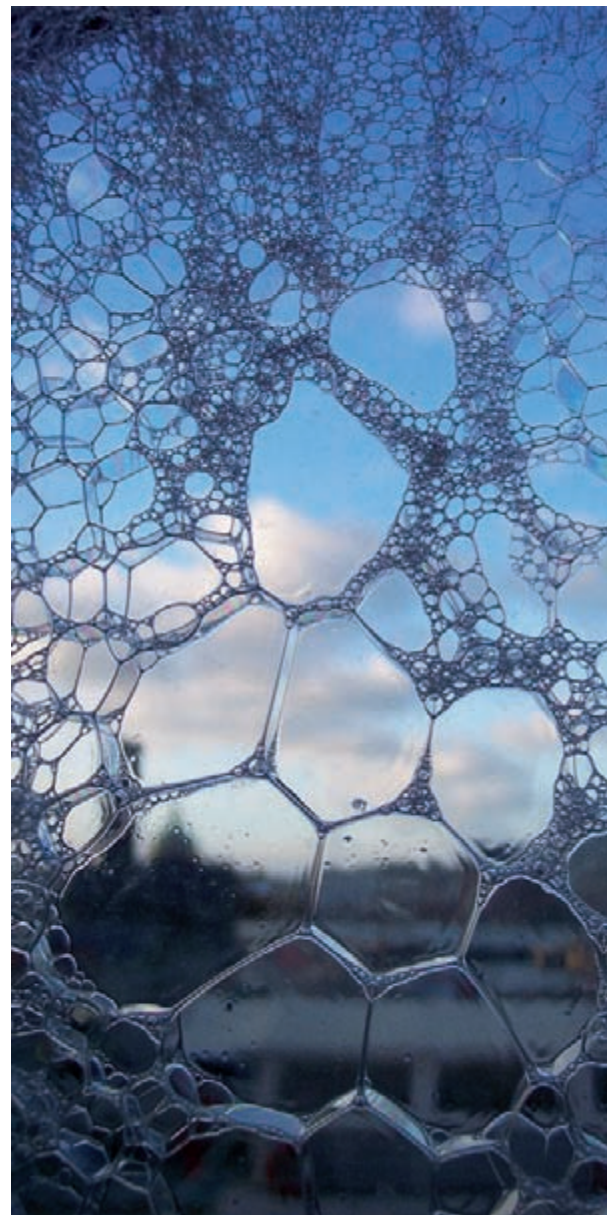
God fornøjelse

ELLEN KATHRINE HANSEN

## Indledning

9

1 Projektparterne er: Arkitektskolen Aarhus, Teknologisk Institut, Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) og VELFAC Vinduer. Projektet er finansieret af Energinet.dk.



Studie i transparens, "sæbe i rude", workshop nov. 01, KA





## MATRIX

### METODE TIL KARAKTERISERING

Af ELLEN KATHRINE HANSEN, lektor, arkitekt MAA

I processen med afsøgningen af de arkitektoniske potentialer i solcelleteknologi har vi fundet behov for at udvikle nye metoder og redskaber. Vi har forsøgt at skabe en tværfaglig forståelse for værdierne lige fra målingerne i de tekniske laboratorier, over beregninger af tekniske data, teoretiske udfoldninger af begreber til definering af æstetiske potentialer til oplevelsesorienterede registreringer.

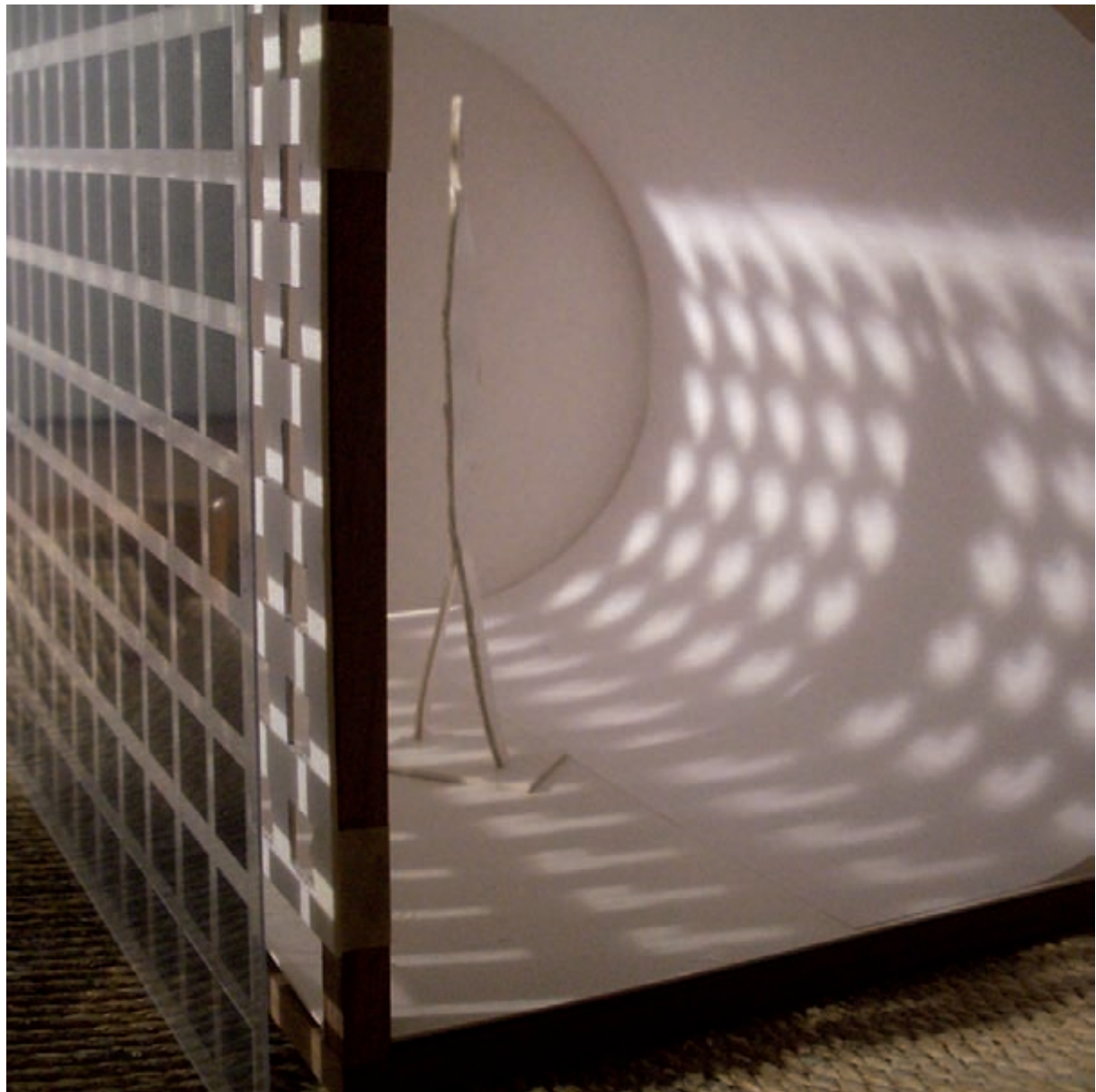
Dette kapitel beskriver en MATRIX udviklet til dette projekt samt en række begreber til at definere og sammenstille de tværfaglige værdier.

### HVORFOR HAR VI UDVIKLET EN MATRIX?

En grundlæggende udfordring i frembringelsen af arkitektur er fornemmelsen for, hvordan de enkelte byggekomponenter præsenterer sig i deres omgivelser som en del af en helhed – en del af en rumlig komposition såvel som en del af facaden. Ved udvikling og bygningsintegration af nye energiteknologier er udfordringen ekstra stor. Disse teknologier bliver ofte udviklet og vurderet som monofunktionelle lag, og ikke som komponenter der skal fremtræde i en arkitektonisk sammenhæng.

Målet er at få disse tekniske og specialiserede lag udviklet til multifunktionelle lag i facaderne. Lag der tilfører flere betydninger end blot at fungere som bygningens energieffektive hud. Problemet er, at det er vanskeligt at kommunikere, og det er svært at opnå den ønskede synergi, når de tværfaglige værdier skal sammenstilles og vægtes overfor hinanden. Ofte resulterer dette i at de tekniske værdier, som nemt kan defineres og måles, bliver udgangspunkt for værdisætningerne for komponenterne, mens de æstetiske værdier ikke integreres tilstrækkeligt.

DERFOR har vi udviklet en matrix, der skal sammenstille det målte med det oplevede. Den er tænkt som et redskab til i processen at stille og besvare de rigtige spørgsmål for en mere holistisk vurdering af komponenten. Samtidig skal den fungere som et kommunikationsmiddel, hvor forskningsprojektets resultater kan systematiseres og syntetiseres, og derved på overskuelig vis beskrive hver solcellekomponent i et tværfagligt perspektiv. Tilsammen udgør en række matrix en produktoversigt, der har som mål, at beskrive egenskaberne ved transparente solceller samt vurdere hvordan vi kan indplacere fremtidens teknologiske byggekomponenter i et holistisk perspektiv og stille de ikke målbare værdier overfor de målbare.



Øvelse, "det kommunikerende rum", workshop nov. 07, AAA



## MATRIX

Den udviklede matrix kortlægger tre forhold; de kommunikerende, de regulerende og de producerende værdier i de tre genstandsfelter komponent, facade og rum. Dette gøres ved at vinkelstille to akser, med henholdsvis de tre værdier og de tre genstandsfelter. Spændet i denne matrix anskueliggør de tværfaglige værdier. Derved søger vi at vurdere de forskellige komponenter mere holistisk. Metoden anskueliggør ikke mindst hvilke spørgsmål der skal stilles og besvares for karakterisering af en komponent.

I diagonalen fra venstre øverste hjørne (den regulerende komponent) til højre nederste hjørne (det producerende rum) ligger spændet mellem den fysiske (lys- og klimaregulerende) vurdering af den fysiske komponent til vurderingen af, hvad rummet producerer i mennesket, altså hvordan rummet påvirker mennesket. Fra den fysiske komponent, hvor effekten defineres, som er den traditionelle værdisætning, til hvilket indtryk komponenten gør på individet, her defineres affekten. Sidstnævnte bør være en væsentligst værdiparameter, men forbigås ofte, idet den kan være vanskelig at definere.

## DE TRE GENSTANDSFELTER, FRA ENHED TIL HELHED

For at anskueliggøre komponentens egenskaber fra enhed til arkitektonisk helhed defineres tre genstandsfelter. Komponenterne skal udvikles til at skabe et samspil mellem de enkelte lag i facaden, med de sammenstillede komponenter i facaden samt med rummet bag facaden, disse tre genstandsfelter karakteriserer vi som følger:

## KOMPONENTEN

Det enkelte element, der udgør et led i flere samvirkende elementer, som tilsammen udgør facaden.

Traditionelt er solcellekomponenterne udviklet med fokus på målbare værdier, som energiproduktion, pris og holdbarhed.

I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR vurderer vi komponenten, det transparente solcellepanel, integreret i et vindue.

## FACADEN

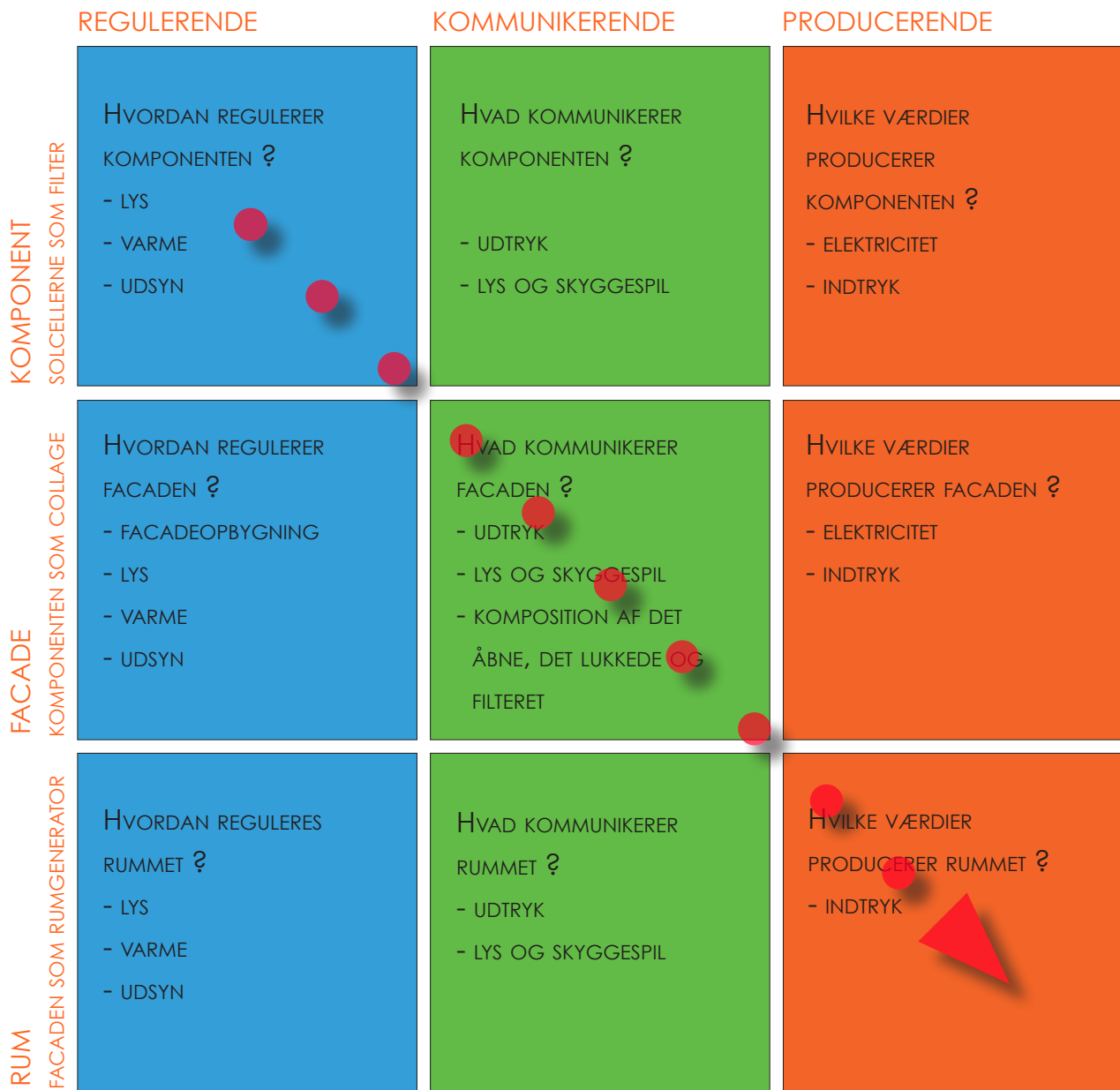
En bygnings forside, det repræsentative<sup>1</sup> og skærmende, bygnings beklædning. En sammenstilling/komposition/gentagelse af komponenter, deres mønstre og variationer, så der opstår et facadeudtryk oplevet udefra. Bygningens ydre. Formidler overgangen mellem inde og ude.

Traditionelt er facaden komponeret med fokus på facadens udtryk (de kommunikerende værdier). I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR betragter vi facaden som en sydvendt facade (eller to solcellefacader der er orienteret øst, vest). I kompositionen af lukkede, åbne og lysfiltrerende (transparente solceller) komponenter bliver facaden repræsentativ som ovenfor beskrevet.

## RUMMET

Rummet er det tredimensionelle, rum der opstår bag facaden. Bygningens indre.

Traditionelt er rummet skabt med fokus på funktion og den fysiske form. I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR registrerer vi hvordan det filtrerede lys, gennem solcellekomponenten i den sydvendte facade, opleves indefra og er med til at forme rummet.







## DE TRE VÆRDIPARAMETRE, FRA DET FYSISKE OVER DET OPLEVEDE TIL DET INDLEVEDE

I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR er de transparente solcellekomponenter et ekstra specialiseret lag, der bidrager med værdier, der er både regulerende, kommunikerende og producerende. Arkitekt Finn Selmer definerer i artiklen 'Facadens Lagdeling'<sup>2</sup> facaden fra to forskellige synsvinkler: 'facaden opfattet som i biologisk/fysisk forstand regulerende og facaden opfattet som i semiologisk forstand kommunikerende. Vi lægger endnu et lag til nemlig facadens indvirkning på mennesket i fysiologisk og psykologisk forstand, det producerende. De tre specialiserede lag definerer vi som værdiparametre i vurderingen af solcellerne.

## DE REGULERENDE VÆRDIER – EFFEKT

(fysisk udtryk for en belastning, effektivitet, måles ofte i watt)

Finn Selmer taler om den regulerende facade som '-en slags tredje hud, hvor den første er den, naturen har tildelt os, og den anden er den, der består af forskellige former for beklædning'. Den enkelte hud består af forskellige specialiserede funktionsslag, der kan reguleres. Den regulerende facade bygger på naturlovene og hvordan mennesket i samspil med naturen kan regulere indeklimaet. En natur-menneske relation, hvor facadens eksistensberettigelse er formidling af strømme af stof og energi. I mere avanceret form kan den regulerende facade afspejle en cyklisk tidsopfattelse – døgnets og årstidernes rytme.

Når vi i LYS + ENERGI + ARKITEKTUR vurderer komponent, facade og rum ud fra de regulerende værdier, er det ud fra klimatiske og brugsmaessige forudsætninger, der sikrer størst mulig komfort med mindst mulig energiforbrug, en naturvidenskabelig kvantitativ tilgang, en effektivisering. SBI har målt, hvor meget dagslys der transmitteres gennem ruden, belysningsstyrken og hvordan lyset fordeles inde i rummet. Teknologisk Institut har sammen med DTU målt/beregnet hvor meget solvarme, der transmitteres ud gennem ruden, samt hvor meget varme der transmitteres ind gennem ruden (g-værdi), afhængig af hvor godt ruden isolerer (U-værdi). Endelig har Teknologisk Institut udarbejdet en energiberegning, der definerer det samlede brutto energiforbrug, dvs. både produktion og forbrug.

## DE KOMMUNIKERENDE VÆRDIER

Den kommunikerende facade omhandler ifølge Finn Selmer en menneske-menneske relation, et samspil mellem mennesker. Den kommunikerende facade informerer, og giver mulighed for betydningsudveksling. Det kommunikerende aspekt i facaden tager ifølge Finn Selmer afsæt i selve stoffet og principper for dets sammenføring, som ved tavs tilstedeværelse appellerer til umiddelbare sanseoplevelser. Fletning, stabling og sammenbinding af materialet bærer kimen til ornamentet. Her gives facaden et særligt udtryk, et udtryk der vokser ud af selve det håndværksmaessige fremstillingsprincip. Det bundne ornament. En forankring i det naturgivnes umiddelbare sanselighed. Det nærværende.

I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR er det glassets tekstur og solcellernes ornamentering, der udgør det bundne ornament. 'Ornamentet' iscenesættes så det får forskellige udtryk afhængig af lysets refleksioner og skyggevirkninger i komponenten og af, sammenstilling med andre komponenter samt i samspil med rummet.



I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR defineres i workshoppen, der blev afholdt på AAA i november 07, tre indledende øvelser, de kommunikerende værdier, for hhv. komponenten, facaden og rummet. Ud over de nærværende oplevelser af hvordan komponenten kommer til udtryk via samspillet med lys, er solcel-lens teknologi meget lig fotosyntesen, idet solens stråler også her absorberes og omdannes til en brugbar energiform. I lighed med fotosyntesen kan solcellers aktivitet gøres læsbar, og der- ved kan solcellen kommunikere om energioverførslen fra solens elektromagnetiske stråler til elektricitet.

Komponenten kommunikerer både udadtil og indadtil, samtidig med at den har et forhold til rummet. Derved skabes en sam- menhæng, et spændingsfelt, som vi i projektet har forsøgt at afsøge via fotoregistreringer.

### DE PRODUCERENDE VÆRDIER

Ud over den elektricitet solcellerne producerer, skal denne værdisætning karakterisere hvordan komponenten, facaden og rummet påvirker menneskers følelse af komfort. Vi taler om at rummet producerer atmosfære.

Det er parametre, der er meget svære at håndtere og derfor sjældent fremhævet i teknisk sammenhæng, men de er i bund og grund de væsentligste ud fra en arkitektonisk forståelse. Her taler vi om hvilke indtryk, indvirkning eller indflydelse omgivelser- ne har på mennesket. De transparente solceller kan transmittre sollys ind i rummet, hvilket har stor indflydelse på menneskers velvære, trivsel og sundhed.

Rent fysiologisk er det bevist, at sollys, herunder det filtrerede lys indenfor rimelige mængder, er det bedste naturmiddel for vores helbred. Et romersk ordsprog siger: 'Hvor solen ikke kommer, kommer lægen'<sup>13</sup>.

Fysikeren Niels Finsen modtog i 1902 Nobel Prisen for opda- gelsen af, at de ultraviolette stråler i solen kunne helbrede tuberkulose. Opdagelsen byggede på en tidligere påvisning af, at sollys dræber bakterier. Solens bestråling af huden øger produktionen af D-vitamin, som er essentiel for en lang række helbreds faktorer.

Det har længe været kendt, at lyset har en effekt på vores psykiske tilstand. Melankoli er et psykologisk udtryk for en følel- sesmæssig nedtrykt tilstand med tungsind og mørke. Ligesom vinterdepression, SAD (Seasonal Affective Disorder), er en følge af for lidt lys.

For nylig er det videnskabeligt påvist, at dagslyset påvirker vores 24 timers cyklus gennem øjets lysfølsomme celler, der har ind- flydelse på hjernens biologiske ur.<sup>4</sup> Ligesom solen gennem øjet påvirker hormonale og biokemiske processer i kroppen.

Ovenstående fysiologiske og mentale påvirkninger er blot et lille udsnit af nogle af de mange indikatorer, der er for, hvor meget der er på spil i mennesket, når vi påvirkes af vores omgivelser. Herudover er der de psykiske aspekter, der beskriver, hvilke emotioner der leder til en affekt, en følelsesmæssig tilstand individet kommer i forårsaget af en ydre situation. Rummet gør indtryk på individet.

Det atmosfæriske beskriver den vekselvirkning der opstår mel- lem subjekt og objekt. Atmosfæren er noget vi fornemmer, noget vi berøres af følelsesmæssigt. Det vi forstår ved at befinde os i en omgivelse.<sup>5 og 6</sup>

Solcellen kan her præsentere sig, træde frem i sine omgivelser på en bestemt måde, i bestemte former. Scenesættelsen af sol- cellekomponenten præger omgivelserne, den træder udenfor sig selv, og fremviser et nærvær med omgivelserne. Atmosfæ- ren kan ikke bestemmes, men oplevelsen af den kan beskrives.



I LYS + ENERGI + ARKITEKTUR har vi observeret de producerende værdier (atmosfæren) gennem vores kropslige nærvær, idet vi fornemmer, hvordan vi befinder os i rummene. I workshoppen udvikledes derfor rumstore arkitektoner som man kan 'være i' og lade sig påvirke af, ligesom vi kan invitere andre til at være i disse rum, og afdække hvilken indflydelse rummene har på dem. Denne oplevelsesorienterede tilgang, bygger udelukkende på sansemæssige observationer og registreringer af erfaringer med at opholde sig i rummet. Dette dokumenteres via billeder og ord.

I beskrivelsen af det producerende rum er det uomgængeligt at benytte begrebet æstetik som en iagttagelse, en fornemmelse for tingenes væsen. Hvor vi i den kommunikerende solcelle taler om den ydre fremtrædelse 'overfladen' eller ' huden', taler vi her om en sanselig nydelse, oplevelsesnærhed, emotionel indsigt, medlevelse, relevans og indlevelse.

Æstetikken kan i sit væsen mediere mellem form og stof med henblik på at gøre abstrakte problemstillinger konkrete og specifikke erfaringer almene. Heraf kan vi aflede, at den dag vi formår at mediere udnyttelsen af solens energi via solcelleteknologi i et æstetisk udtryk, er vi nået meget langt i diskussionen om at integrere energiteknologi i arkitekturen.

1 *Det repræsentative*, er udfoldet af arkitekturteoretikeren Kenneth Frampton

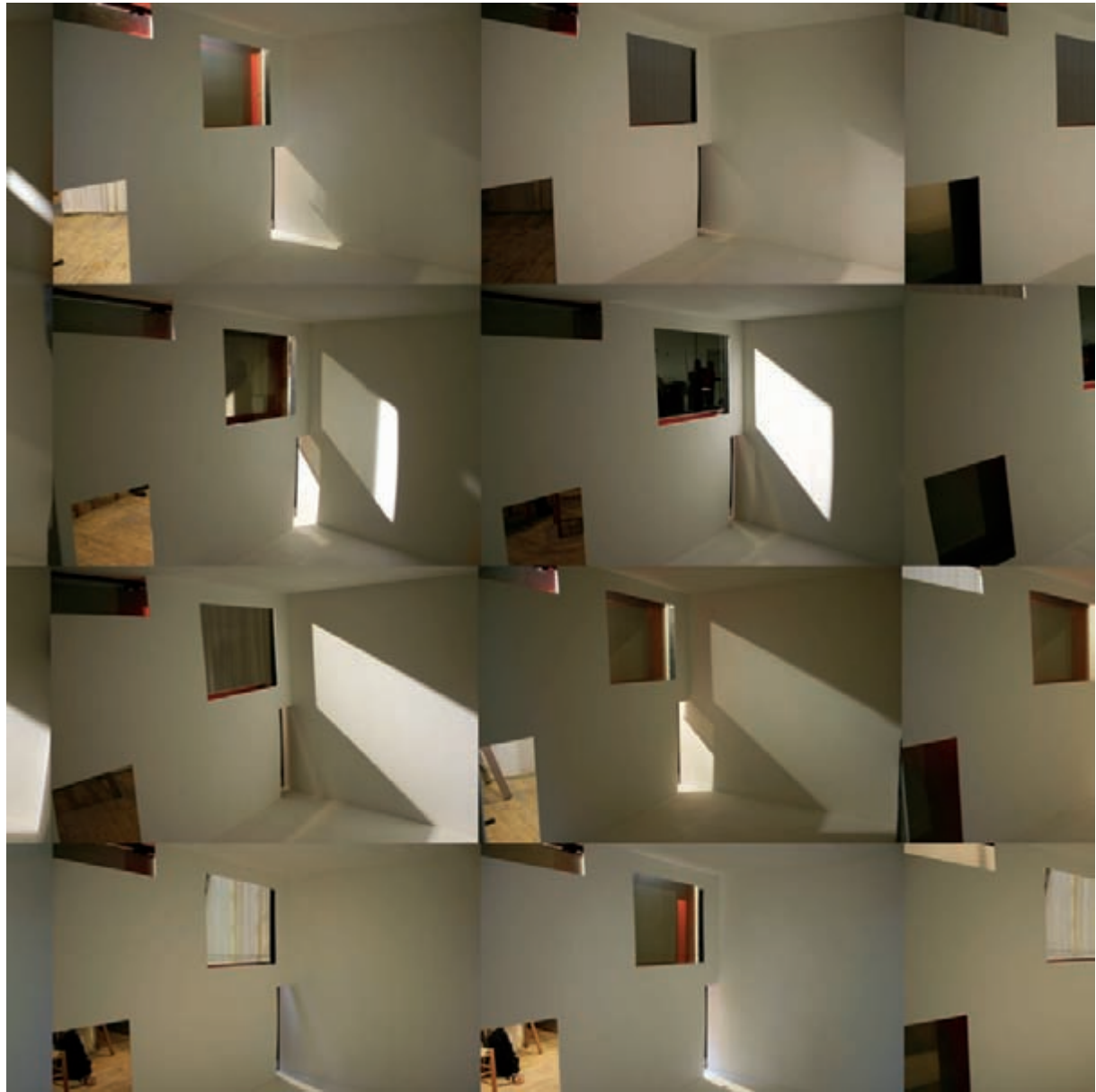
2 *Facaden, teori og praksis*, Kunstakademiets Arkitektskoles Forlag 2003, s. 15-25

3 *Light and Life From the Sun*, Richard Hobday, Daylight & Architecture, Issue 06 s. 16

4 *Lys, sundhed og velvære*, Jens Christoffersen, SBI, [www.lysnet.com](http://www.lysnet.com)

5 *Urbane atmosfærer*, Niels Albertsen, Sociologi i dag nr. 4, 1999 s.7

6 *Oplevelsens Glossar, Æstetik*, AAU, Inst. For Kommunikation, [www.aau.dk/oplevelser/aestetik.htm](http://www.aau.dk/oplevelser/aestetik.htm)



Øvelse, "det kommunikerende rum", workshop nov. 07, AAA





## TRANSPARENS

### BEGREB TIL DEFINERING AF ÆSTETISKE POTENTIALER

AF ELLEN KATHRINE HANSEN, lektor, arkitekt MAA

Transparente solceller har potentialer til at udgøre energiproducerende og klimaregulerende facadeelementer, der manipulerer med lyset og skaber helt nye sanseoplevelser, hvor glasfacadens materialitet og teknologi danner nye æstetiske udtryk.

Disse æstetiske potentialer kan beskrives gennem begrebet transparens. Begrebet har traditionelt været brugt i forbindelse med rumlig transparens. I nedenstående tekst benyttes begrebet transparens til at definere nye potentialer i facader med transparente solceller og rummet bag disse.

Først beskrives begrebet transparens, hvorefter de æstetiske potentialer i begrebets betydningslag defineres inden for den transparente glasfacade, med reference til den producerende, kommunikerende og regulerende solcelle. Endelig belyses disse potentialer gennem et studieprojekt, hvor der er arbejdet med æstetiske potentialer i transparente solceller.

### BEGREBET TRANSPARENS

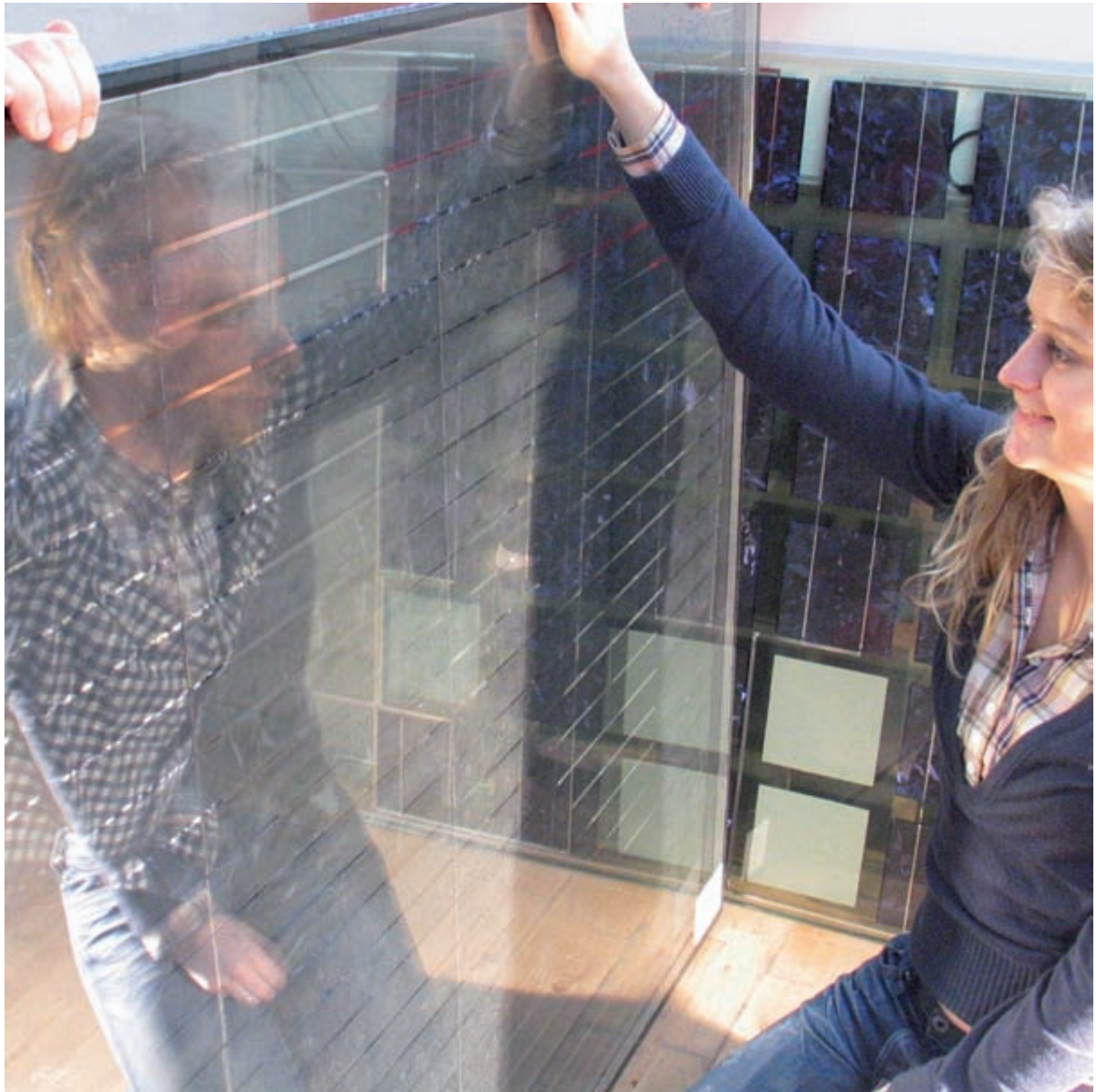
Transparens er et centralt begreb inden for moderne kunst og arkitektur. Begrebet er op gennem det 20. århundrede blevet udviklet og benyttet til teoretisk at definere den moderne traditions fornemmelse for form og rum. Lyset er heri en gennemgående og vigtig parameter. Begrebet kan forstås indenfor tre betydningslag: bogstavelig transparens, meningstransparens og fænomenbundet transparens.<sup>1</sup>

Bogstavelig transparens betyder gennemsigtighed, at kunne se ind i eller igennem en bygning. En egenskab der for alvor blev mulig med modernismens introduktion af bærende stål- og jernbetonkonstruktioner lukket med lette glasfacader. Den tyske arkitekt Arthur Korn beskriver i 1929 den nye facade således: '...this window is the wall itself, or in other words, this wall is itself the window. And with this we have come to a turning point. It is something quite new compared to the achievements through the centuries...it is the disappearance of the outside wall...'. Den 'usynlige' glashud, afløste såvel muren som vinduet og revolutionerede derved vores forhold mellem inde og ude. Le Corbusier taler om at arkitekturen fik volumen frem for masse.

Ved brug af transparensbegrebet i bogstavelig forstand forstås glas som et næsten usynligt materiale. En dematerialisering af glasset, der via sin gennemsigtige/usynlige kvalitet er i stand til at give en sand gengivelse af lys, rum og volumen på 'den anden side'<sup>2</sup>. Det er denne bogstavelige betydning, vi i arkitektonisk forstand oftest forbinder med begrebet transparens.

**MENINGSTRANSARENS** eller betydningsbærende transparens dækker over gennemsuelighed i såvel bygningens form, funktion og konstruktion. Ideen om 'form follows function' eller 'things beeing what they are' er idealer for modernismens æsteter, der bygger på at funktionen, konstruktionen og ma-





Studier i glassets perceptionelle egenskaber, workshop nov. 07, AAA





terialerne i sig selv fremkalder bygningens æstetiske udtryk. Et ideal der betegnes af de amerikanske kunstnere Robert Morris som 'presentness' (1978) og af Donald Judd som 'directness'<sup>3</sup>. Inden for arkitekturen formulerede Mies van der Rohe i 1933 de æstetiske kvaliteter i meningstransparens således: '...Simplicity of construction, clarity of tectonic means, and purity of material reflect the luminosity of original beauty. (Neumeyer, 314)<sup>4</sup>.

På trods af de tidlige modernisters stræben efter gennemskuelighed, renhed og klarhed i bygningernes konstruktion, teknik og materialitet bærer den tids glasfacader præg af, at man stolede på skjulte mekaniske klimasystemer til regulering af varme- og lysindtag, samt ubegrænsede energiressourcer. Glasset var derfor den transparente hud, der blotlagde bygningens konstruktive princip, uden at fortælle om facadens funktion som lys- og klimaregulerende skærm.

**FÆNOMENBUNDET TRANSPARENS** blev defineret af Colin Rowe og Robert Slutzky, der i 1955 skrev 'Transparency'<sup>5</sup>, en af de mest betydningsfulde artikler om transparens som et udtryk for en moderne arkitekturforståelse. Rowe og Slutzky tog afsæt i de rumlige kompositioner i de kubistiske malerier, og beskrev hvordan, begrebet både bogstaveligt og fænomenbundet kan overføres til arkitektonisk transparens.

Rowe og Slutzky refererer til Gregory Kepes beskrivelse af transparens i 'Language of Vision' fra 1944. Her beskriver han ikke det transparente i traditionel forstand som noget indlysende, klart eller gennemsigtigt men derimod som noget flertydigt, hvis mange betydninger indeholder den kvalitet i gensidigt at kunne gennemtrænge flere lag uden hvert lag optisk forsvinder. Derved er transparente materialer i stand til at skabe flere forskellige rumlige tilstande/udtryk.

Billedet skaber en dybde og en sammentrækning af for-,

mellem- og baggrund til en tydelig komprimeret billedstruktur. Billedet bliver 3-dimensionalt.

Rowe og Slutzky oversætter billedfladens perceptionelle 3-dimensionalitet til arkitekturen ved at vise eksempler på, at glasset kan fremkalde et spil mellem antydninger, reel gennemsigthed og refleksioner og derved skabe helt nye 3 dimensionale forestillinger/rumlige lagdelinger. Rum og flader bliver enten lagt til eller trukket fra afhængigt af fokusering, bevægelse og belysning.

Begrebet fænomenbunden transparens blev defineret i et forsøg på at stille ikke målbare værdier overfor den traditionsorienterede målbare og matematiske analyse af arkitekturen og kunsten. Transparens som begreb skulle beskrive det sansorienterede - atmosfæren. '...evnen til med øjet at gestalte realiteter, rum, der kan flyde over hinanden, hvis opmærksomheden ændres'.

### DEN TRANSPARENTE GLASFACADE

Hovedparten af moderne glasarkitektur er udviklet med henblik på at opnå visuel lethed, elegance og gennemsigtighed.

En bogstavelig transparens der dematerialiserer glasset og klimaskærmen, og derved tilsidesætter de indeklimatiske og æstetiske værdier. Resultatet er for ofte problemer med regulering af indeklima og eftermontering af diverse solafskærmninger og solruder.

Nye teknologiske tiltag som klimaregulerende og energiproducerende lag i glasfacaden giver sammen med udviklingen i glasindustrien mulighed for at genoptage den tidlige modernismes 'åndelige bestræbelse' og finde helt nye dimensioner i glasfacadens væsen. Dimensioner der kan lede til langt flere muligheder end forudset af modernismens pionerer, der introducerede begrebet transparens i arkitekturen.

## TRANSPARENTE SOLCELLER

Lyset er en central parameter når transparente solceller integreres i byggeriet. Solcellen er orienteret mod sollyset, hvor den absorberer noget af lyset, og omdanner det til elektricitet. Samtidig danner den transparente solcelle et filter, der transmitterer, reflekterer eller absorberer lyset og derved giver mulighed for at guide lysindfaldet til at skabe nye rumlige effekter.

Derved kan solceller ud over at producere strøm også producere atmosfære, der skaber relationer til mennesker, producere noget i os (iflg. foregående afsnit). Solceller integreret i glasfacaden kan derfor bidrage æstetisk til arkitekturen, hvilket kan defineres inden for menings- og fænomenbunden transparens.

Den 'gennemskelige' /meningstransparente solcelle i glasfacaden kan kommunikere om parallellen mellem energioverførslen af solens elektromagnetiske stråling i solcellen og lysets brydning gennem træernes blade, idet de kemiske processer ligner dem i fotosyntesen. Den kommunikerende solcelle.

Samtidig bliver solcellen en aktiv komponent, der via refleksion, transmission og absorption af solens stråler kan bidrage væsentligt til at regulere dagslysindtag, det termiske indeklima, udsyn og produktion af elektricitet. Den regulerende solcelle.

Som tidligere nævnt revolutionerede modernismens glasfacade vores forhold mellem inde og



Øvelse, "det kommunikerende komponent", workshop nov. 07



ude ved at skabe den 'usynlige' facade. Den solcelleintegrerede facade kan i en ny forstand skabe en tættere kontakt mellem inde og ude ved at optage og regulere naturens ressourcer i facaden og derved direkte formidle om en tættere kontakt til det naturlige klima og disse energier. Den transparente facade indeholder derved en ærlighed og gennemsækelighed som energiproducent og klimaregulator, der rækker udover det potentiale, at bygningen er energiproducerende.

Den 'fænomenbundne' solcelle<sup>6</sup> formidler om oplevelsen og indlevelsen af glasfacaden over 'tid og rum'. Facadens udtryk defineres i forhold til lysets skiften over døgnets og årets rytme samt subjektets bevægelser og livet omkring facaden såvel inde som ude. Lyset vil afhængigt af orientering, indfaldsvinkel og styrke enten absorberes, transmitteres eller reflekteres i facaden. Solcellen kan via sin reflekterende, absorberende og transmitterende evne integreres i glasfacaden så den fremkalder de ønskede optiske affekter via spillet mellem lys og skygge som en teknologisk ornamentering. Den producerende solcelle.

Ligesom Rowe og Slutzky oversætter billedfladens perceptionelle 3-dimensionalitet, kan facadens, via lysets brydning af fladen, opleves som 3-dimensional. Der ligger potentialer i at fremhæve denne perceptionelle 3-dimensionalitet. Den klimaregulerende og energiproducerende facade indeholder mange funktionelle lag, som fysisk kan konstrueres, så facaden bliver 3-dimensional, og derved opleves som forskellige rumligheder afhængigt af subjektets placering og fokusering i forhold til facaden og rummet.

De klimaregulerende lag er alle konstrueret for at styre solens energi og lysets spil i lagene. De kan skabe rumlige lagdelinger, der lægges til og trækkes fra de omgivende rum såsom gadrummet, himmelen, interiør og derved skabe forskellige rumlige tilstande alt efter hvor øjet fokuserer.

En bevidst guidning af dagslyset mellem disse parametre kan skabe en facade, hvor glassets materialitet bliver ophøjet til at have en foranderlighed og poetisk karakter, der udnytter dagslysets udtømmelige potentialer. Herved bliver den transparente solcellekomponent på en gang regulerende, kommunikerende og producerende.

## CASE

Følgende gennemgås én af de tre opgavebesvarelser fra forskningsprojektet 'TRANSPARENTE SOLCELLER, fremtidens el-producerende solafskærmning'<sup>7</sup>, der blev afholdt januar 2004 på AAA. Opgaven er beskrevet med afsæt i bogstavelig-, menings- og fænomenbunden transparens.

Opgaven 'Det ydre i det indre'<sup>8</sup> blev løst ved at montere 'solceller' på 30 x 100 mm, der på indersiden har en spejlende overflade. Solcellerne er placeret i en struktur på rudens øverste og nederst del.

Uden på facaden monteres en skærm, der er perforeret med solcellernes negative mønster, hensigten er at skærmen reflekterer det direkte sollys, der ville blive transmitteret gennem ruden, mens solcellerne belyses gennem hullerne i skærmen. Skærmen følger solens gang og har en afstand til ruden, hvilket tillader himmellys at trænge ind i rummet.

## BOGSTAVELIG TRANSPARENS

Solcellernes individuelle refleksion af lys gør at glasfacaden – når solafskærmningen ikke er for - såvel indefra som udefra opleves som en helhed. Der er en flydende kontakt mellem inde og ude og glassets gennemsigtighed sløres overraskende lidt af solcellerne. Det skyldes, at solcellerne reflekterer lys og farver fra rummet, og derfor ikke fremstår som mørke kontraster til den lyse rude.





Projekt, "det ydre i det indre", fremtidens solceller, kursus, januar 2004, AAA

### MENINGSTRANSARENS

Ofte er det et problem at indpasse spejlende solceller i facaden, da de kan komme til at fremstå dominerende. Dette projekt er bygget op om ideen at udnytte refleksionen som et æstetisk potentiale, bl.a. ved at proportionere solcellerne og placere dem i komponerede rytmer på facaden. Herved kan solcellerne – evt. siliciumceller – i facaden fremstå dels som et æstetisk element, med den naturligt spejlende stofflighed de har, og dels gøre det muligt at gennemskue solcelleteknikken og derved opleve facaden som energiproducerende. I den horisontale inddeling tages der højde for øjenhøjde fra såvel stående som siddende position. Spejlenes rytme forskydes i forhold til den centrale del af facaden, hvilket giver en fin

indikering af rytmerne i etagerne. Skærmens afstand til ruden gør at lyset, der reflekteres fra solcellerne, vil lyse indersiden af skærmen op, så denne får en venlig karakter.

### FÆNOMENBUNDEN TRANSPARENS

Solcellerne fremhæver det fænomen, at man kan fokusere på det nære, det fjerne eller spejlingerne i facaden, alternativt projicere lagene sammen til en ny visuel oplevelse. Her forstærker solcellerne den optiske oplevelse, idet der er tale om to spejlinger, glassets og solcellernes. Det ydre og det indre rum smelter sammen, og facaden får ud over de mange rumligheder den ekstra dimension, at man kan se rummet bagved, det nære rum, ruden (objektet) og det ydre rum. Samtidig kan







man se udsnit af sig selv i såvel glassets som solcellens spejlinger. Facaden bliver herved middel til at afspejle omgivelserne/ virkeligheden på en ny måde og skabe nye 3-dimensionale rumligheder.

Solcellerne underopdeler den ellers monotone glasfacade, og skaber en struktur, der udnytter lyset til aktivering og levendegørelse såvel af facaden som by - og arbejdsrummet. Byens-/ gadens liv og det indre liv samt skyformationer og sollysets styrke og retning vil være parametre, der er med til at tegne sig i facaden.

I sammenstillingen af det indre og det ydre rum, får rummet karakter af, på en gang at være lukket og åbent. Indefra vil spejlene fremstå relativt mørke midt på dagen, mens der i overgangen mellem dag og nat vil opstå den stærkeste effekt, idet rummene vil kunne opleves forskudt. Om aftenen vil spejlene reflektere lyset fra rummet og fremstå som lysende felter på en mørk flade og derved bryde den store mørke glasfacade. Udefra vil oplevelsen af lysets refleksioner i solcellerne og glasset opleves modsat idet refleksionerne om dagen vil være stærkest og opleves op imod en relativ mørk glasflade, hvorimod de om aftenen vil fremstå som mørkere felter mod en indefra oplyst facade.

Som i ovenstående case har vi i workshoppen LYS + ENERGI + ARKITEKTUR benyttet transparensbegrebet til at beskrive de æstetiske potentialer, der blev fremkaldt i facadeudtryk og rumlig komposition.

1 Denne tredeling af betydninger beskrives bl.a. i Words and Buildings. A vocabulary of Modern Architecture, Forty Adrian, New York 2000 s. 286 - 288

2 Words and Buildings, Forty, Adrian, New York 2000, s 286

3 Words and Buildings, Forty, Adrian, New York 2000, s 288

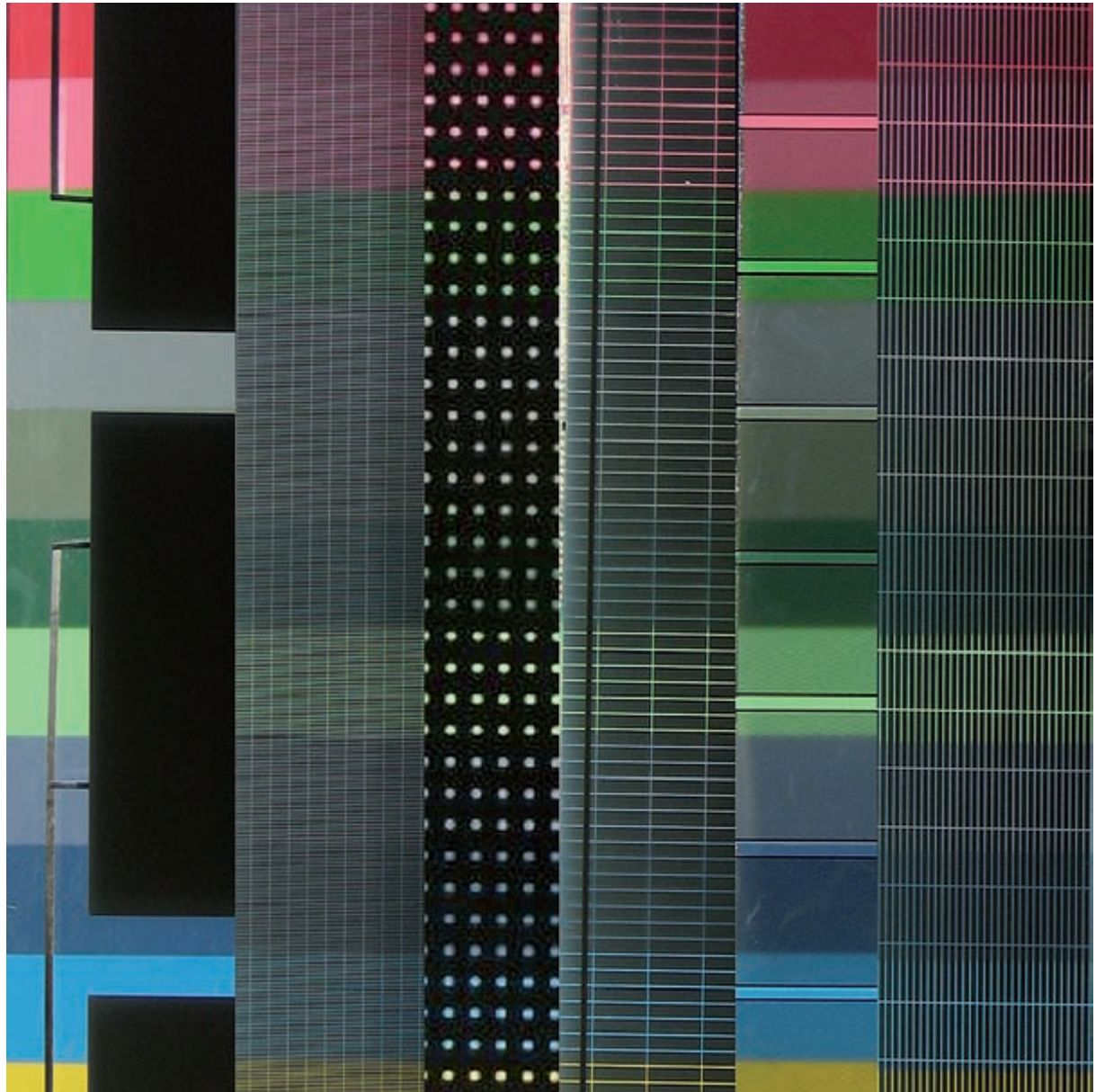
4 Words and Buildings, Forty, Adrian, New York 2000, s.288

5 'Transparency: Literal and Phenomenal', Part 1 (1963) i Rowe, Mathematics of the Ideal Villa, 1982, 159-83. På dansk Colin Rowe & Robert Slutzky, TRANSPARENS: bogstavelig og fænomenbundet' oversat af Karin Hindsbo, i RUM analyser, red. Bek og Oxvig, 1998, 275-292

6 Ordet fænomen er græsk for det der kommer til syne, objektet, som det fremtræder for subjektet. Verdenen er mere end det vi får beskrevet via det fysiske og videnskaben eller i denne sammenhæng bogstavelig transparens og meningstransparens. Fænomenbunden transparens søger at lade fænomenet træde frem i sin væren – i denne sammenhæng glasfacaden i dens væsen.

7 Projektsamarbejdsparterne var: Teknologisk Institut, PEC group, Dansk Polymercenter, Årngstøm Solar Center, Roskilde Universitetscenter, Teknologisk Institut, Build VISION og Arkitektskolen Aarhus. Projektet var PSO-F&U finansieret og løb i perioden juni 2003 til juni 2005.

8 Udarbejdet af Stud. Arch. Mie Johansen, Christine Eng, Mathilde Rødbro og Kamille Le Fevre, Arkitektskolen Aarhus



Studier af solcellerudernes transparens, SBi, Juni 2007





## SOLCELLER

### Et Udviklingsperspektiv

Af ELLEN KATHRINE HANSEN, lektor, arkitekt MAA

Solceller er halvledere der omsætter sollyset direkte til elektricitet ved hjælp af den fotovoltaiske effekt, en cirkulation af positive og negative ladninger, uden nogen form for bevægelse, støj, slid eller affaldsprodukt.

### KRYSTALLINSK SILICIUM SOLCELLER

De klassiske og mest udbredte solceller er de krystallinske solceller. De består af højrent silicium, der er skåret i tynde skiver, de såkaldte wafers. Fra disse wafers produceres solcellerne. Langt de fleste solceller sælges ikke til slutbrugeren som enkelte celler, men som solcellemoduler, hvor flere celler til en elektrisk enhed er indkapslet.

Krystallinske solceller findes i mono- og polykrystallinsk form. De polykrystallinske solceller består af mange krystaller, og er derfor billigere at fremstille end de monokrystallinske, der består af en krystal, som til gengæld giver en noget højere energiproduktion. Silicium wafers er normalt fuldstændig lysblokkerende. For at opnå en transparens i solcellemodulerne arbejdes der derfor ofte med at placere solcellerne med mellemrum i glasruder. Alternativt kan der skæres huller og mønstre i solcellerne så lys også filtreres gennem selve cellen. Ved denne metode fjernes imidlertid noget af det solcelleaktive materiale og strømproduktionen falder tilsvarende.

Krystallinske siliciumceller udgør pt. 90% af markedet.

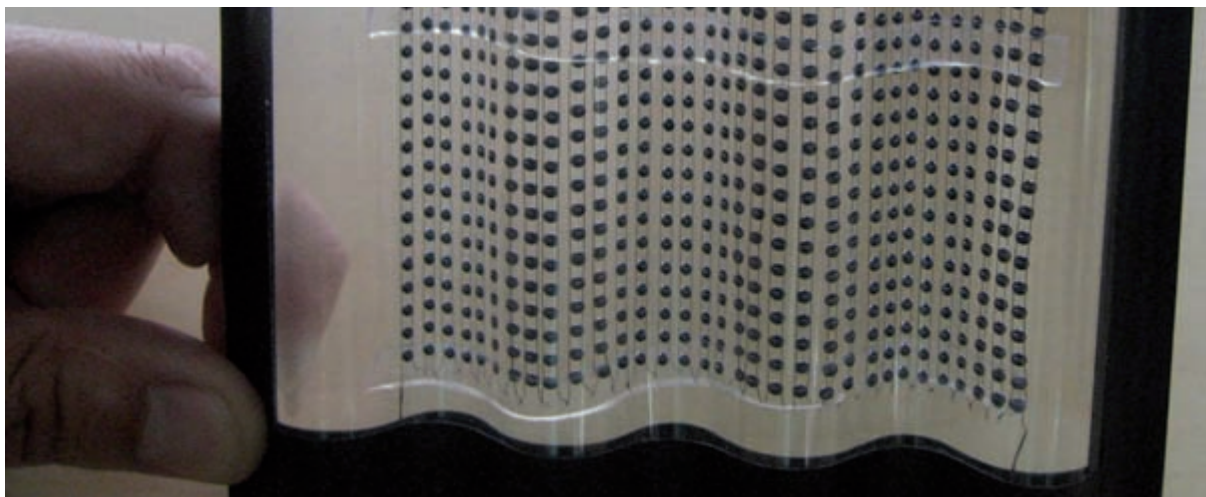
Komponenten i dette projekt fra Gaia Solar består af polykrystallinsk silicium. Gaia Solar har arbejdet med at fastgøre solcellerne på det inderste lag glas i en to-lags rude. Traditionelt er solcellerne lamineret mellem to lag glas, der udgør den yderste rude i en tolagsrude.

### TYNDFILMSOLCELLER

Tyndfilmceller er en nyere type solceller, der i disse år for alvor kommer på markedet. Tyndfilmcellerne fremstilles ved at det solcelle aktive materiale lægges direkte på et underlag, hvorefter hele strukturen indkapsles. Ved ikke at udvikle hele wafers, spares en del af leddene i produktionsprocessen sam-



Polykrystalinske silicium wafers



Kyosemis bud på fremtidens solcelle; små kugler forbundet af elektriske ledere







tidig er udnyttelsen af det dyre solcelle-aktive materiale højere i tyndfilmsprocessen end i den wafer-baserede proces. Derfor anses tyndfilmprocessen som en vigtig vej frem mod billigere solceller.

Langt de fleste tyndfilmsmoduler fremstår lysblokkerende, men der er i løbet af de sidste år kommet en lille håndfuld lystransmitterende tyndfilmsmoduler på markedet. Disse produkter er lystransmitterende, fordi der er ridset et meget fint og gennemgående mønster i det solcelle-aktive materiale, og da mønsteret er meget småt fremstår panelerne på afstand translucente.

Tyndfilmssolceller kan produceres fra flere forskellige halvleder-materialer hvor de vigtigste p.t. er: amorf silicium, CIS/CIGS (Kobber-indium-(gallium)-diselenid) og CdTe (cadmium telluride).

Mest udbredte er amorfe silicium solceller, som i dette projekt er repræsenteret med de lystransmitterende komponenter fra MSK, Schott Solar, GSK og PhotoSolar, mens komponenterne fra Würth Solar er mønstrede CIS paneler.

Markedsandelen af tyndfilmceller er i dag ca. 10%, men forventes at vokse til 20% i 2010 og til over 30% på længere sigt.

## FREMTIDEN

Forbedring af dagens solceller samt udvikling af nye typer solceller er et stort og vigtigt indsatsområde inden for forskning og udvikling, både nationalt og internationalt. Fokus er at reducere prisen og øge udbredelsen af solcelle-produceret el. Dette er en langsigtet og kompliceret indsats, og resultatet forventes ikke at være et "kvantespring" i solcellernes pris eller ydelse, men en gradvis forbedring af dagens celler samt en introduktion af nye typer solceller på markedet over de næste 10 år. De

nye solceller vil adskille sig fra de solceller vi kender i dag ved at være billigere, ved at have et anderledes visuelt udtryk eller ved at have en højere ydelse.

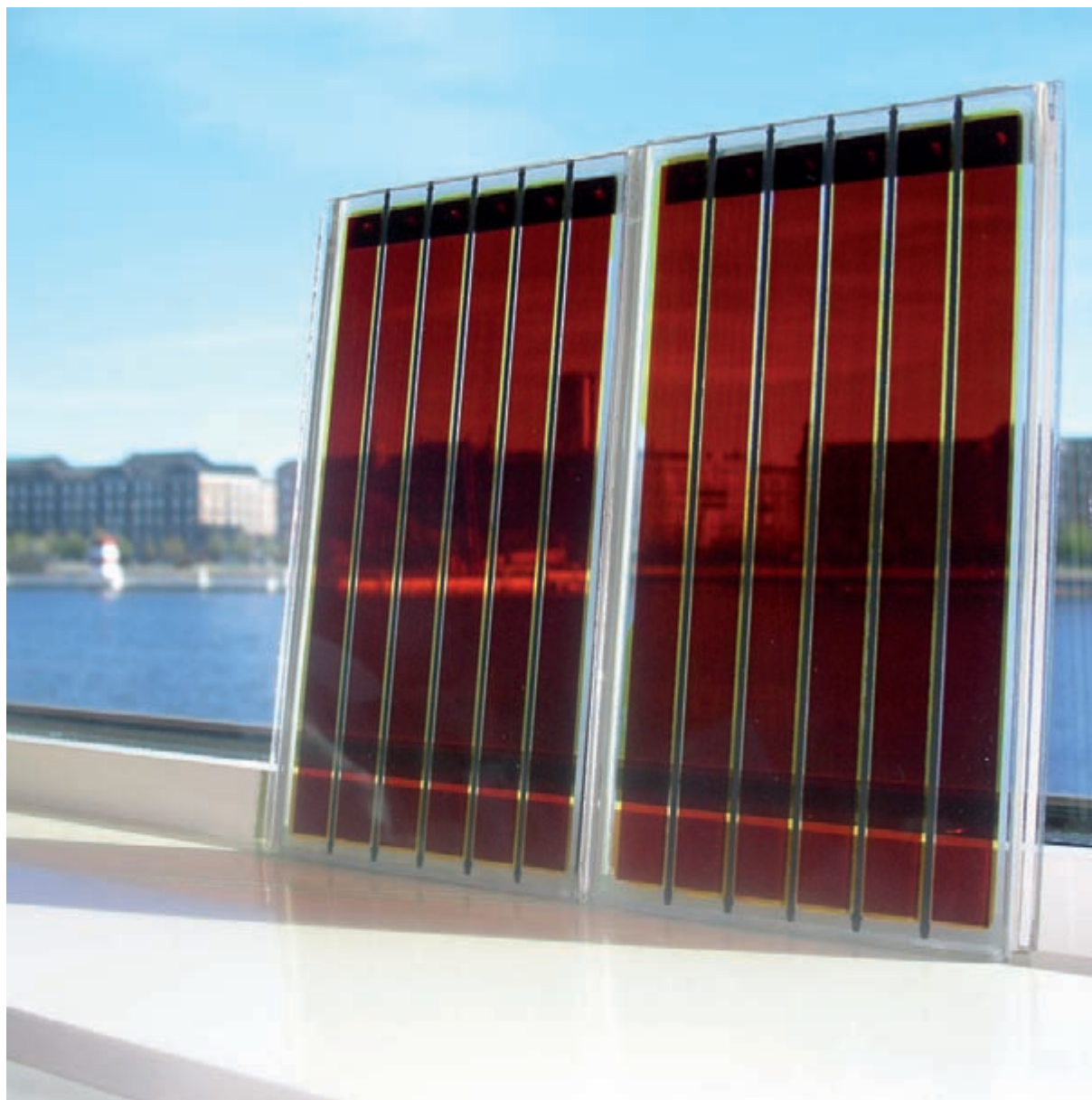
Det globale marked indenfor solcelleteknologi er ekspanderet indenfor det sidste årti, voksende med næsten 50 % om året i de sidste 5 år. Solcelleteknologi bliver ved med at reducere prisen med historisk hastighed. Produktionsomkostningerne forventes i 2013 at ligge på omkring 1 euro/Wp. EU's vision er at solcellestrøm i 2030 udgør 4 % af verdens samlede energiforbrug.<sup>1</sup>

Solceller er i dag stadig for dyre at integrere i byggeriet økonomisk set. Derfor er der i flere lande lavet ordninger om offentlig støtte til installation af solcelleanlæg. Dette har vist sig at være den vigtigste markedsstimulering. En anden billiggørelse af solceller vil være at udvikle byggekomponenter, hvor solceller er integreret i standardprodukter. Dette er temaet i 'SOL-IND projektet', hvor Skanska, PA Energy, Energi Midt og Arkitekt skolen Aarhus udvikler industrielt fremstillede komponenter til fremtidens præfabrikerede boliger.

Parallelt med den økonomiske udvikling er det vigtigt, at der skabes fokus på de arkitektoniske potentialer i såvel udviklingen af komponenter som nye strategier for, hvordan de kan integreres i byggeriet. Dette er hovedtesen i denne publikation. Vi vil gerne vise, at de transparente solcellepaneler får helt nye potentialer, når de ses i sammenhæng med en arkitektonisk udformning af facade samt rumlighed. Vi håber derved at give udviklingen et skub i den rigtige retning, såvel med hensyn til arkitektens potentialer som ud fra betragtninger om energiop-timering.

<sup>1</sup> A Vision for Photovoltaic Technology, European Commission (PV-TRAC)





Dye sensitized solcelle (DSC) fra Great Cell





## PRODUKTOVERSIGT

### 6 KOMPONENTER, MÅLT OG VURDERET

Vi har som eksempel udvalgt og undersøgt 6 transparente solcellekomponenter for at generere en generel viden om hvordan lysfiltrerende solcellekomponenter kan anvendes i arkitekturen samt for at nærme os en metode for at definere deres værdier i et arkitektonisk perspektiv.

De 6 paneler er udvalgt ud fra en kortlægning af transparente, kommercielle paneler, der var på markedet i 2006.

Hovedparten af disse paneler produceres i flere størrelser. Vi har valgt at indkøbe de panelstørrelser, der ligger tættest på EU's standard vindue.

I dette kapitel sammenfattes undersøgelserne af de 6 transparente solcellekomponenter ved at indskrive deres værdier i den dertil udviklede matrix, beskrevet i kapitel 1.

Værdierne er defineret i tværfagligt regi af forskningsprojektets parter og består af både beregninger, målinger og registreringer.

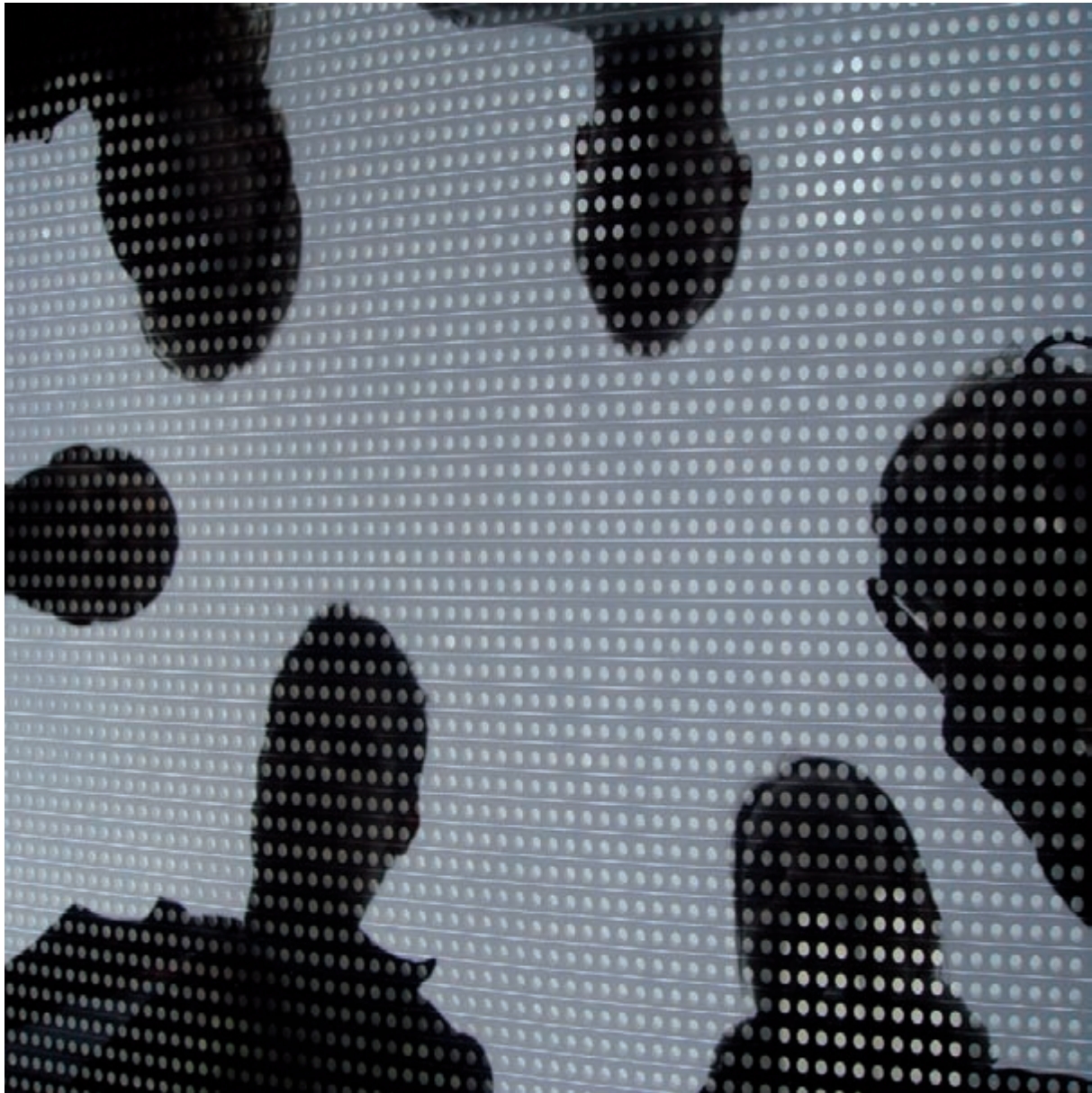
For karakteriseringen af komponenten er tekniske undersøgelser af komponenterne benyttet.

LT-værdi (lystransmittans), g-værdi (solenergitransmittans) og åbningsgrad for panelerne HQ PV Glass 44 Wp og 50 Wp fra MSK samt WSS0007, WSS0008 og WSS0009 fra Würth Solar er målt og beregnet på DTU. Se 'Måling af transmittans og reflektans for glas med forskellige PV-mønstre samt beregning af g-værdi for ruder med PV-glas' af Jørgen M. Schultz, BYG, DTU 15.11.07. Data for de øvrige paneler er værdier oplyst af producenterne.

Belysningsstryke, luminans og udsyn er målt og registreret på SBI. Se 'Light and Energy – Daylight Measurements, SBI, november 2007'.

Forventet årlig strømproduktion under danske forhold er beregnet på Teknologisk Institut.

De oplevede karakteriseringer af solcellefacaden og rummet er defineret på workshoppen 'LYS+ENERGI+ARKITEKTUR' på Arkitektskolen Aarhus. Se kapitel 5.



Studerende undersøger spejlinger i Würth panel, workshop november 2007, AAA





### GENERELLE KOMMENTARER:

For karakterisering af solcellekomponenternes varmeledende egenskaber, g-værdien, har vi målt temperaturen indvendigt og udvendigt på lavenergiruder med integrerede solceller. Udvendigt kan solcelleruder blive op til 70-80 grader. Mest interessant er det, at de indvendige temperaturer er mindre end ved lavenergiruder med almindeligt klart glas. Beregningerne viser, at det inderste glas i en lavenergirude vil opnå en max temperatur, der er 3-4 grader lavere end i en tilsvarende lavenergirude uden solceller i det yderste glas.

Vurderingen af panelernes evne til at formidle dagslys i rum er udført som et øjebliksbillede, det vil sige, at det kun blev udført et sæt målinger på hvert panel. De målte dagslysfaktorer i rummet for de enkelte translucente tyndfilm-celler viste, at Bygningsreglementets vejledning om tilstrækkelig dagslys (mindst 2%) ikke blev imødekommet. Der vil være behov for yderligere åbne transparente områder i facaden.

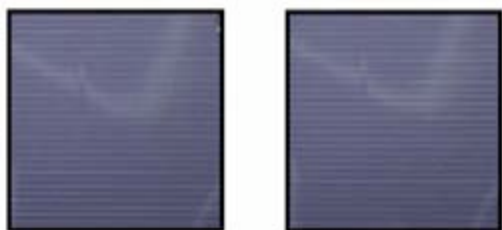
Vi har derfor arbejdet med, at facaden komponeres af tre typer elementer, lukkede, åbne (traditionelle vinduer) og transparente (solcellekomponenterne). Solcellekomponenterne er ikke tænkt som de facadepartier, der skal skabe udsyn til omgivelserne. Derimod er solcellerne filtrer, der kan skabe en effekt i filtreringen af den visuelle oplevelse mellem inde og ude. Om oftenen opstår den modsatte effekt ved kunstlysets filtrering ud gennem ruden. Herudover er der arbejdet med den privathed, der kan skabes bag solcellekomponenten både dag og nat, da solcellerne udtrykker åbenhed og kontakt til omgivelserne, men samtidig skærmer for indblik.

Det relative belysningsniveau angiver belysningsforholdet i rummet ved klar blå himmel og direkte sol. De translucente tyndfilm-celler har alle smalle transparente spor, der var skåret ud i filmen. Det medfører, at på en klar dag med direkte sol, passerer sollyset uhindret igennem de transparente spor og giver, i korte regelmæssige perioder, relativt store variationer i belysningsstyrken inde i rummet. Denne variation vil afhænge af solens placering på himlen, og det kan medføre gener for den enkelte person i rummet og indebære behov for supplerende solafskærmning.

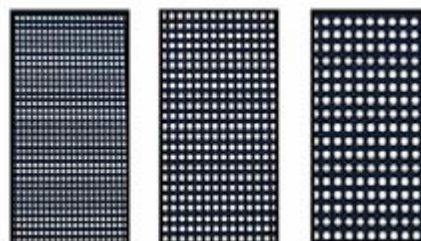
Ved lav solhøjde vil sollyset komme langt ind i rummet, mens solens indtrængning er begrænset, når solen står højt på himlen.

Udsynet til det fri blev vurderet ved en subjektiv evaluering af en farvepalet. Resultatet viste, at farvegengivelsen af udsynet gør det svært at skelne mellem farver indenfor samme nuancer. Dog viste den lystekniske procedure at give en fornuftig indikation af de enkelte systemers evne til at formidle dagslys i rummet, men der bør indarbejdes en mere systematisk objektiv procedure for, hvordan brugeren af et rum vil forholde sig til oplevelsen af en facade med disse translucente tyndfilmceller.





MSK, HQ PV GLASS, 44 Wp OG 50 Wp  
Dimensioner: 950 mm x 980 mm



WÜRTH SOLAR,  
WSS0007, WSS0008, WSS0009  
Dimensioner: 605 x 1205 mm



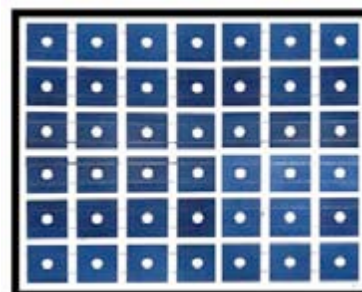
SCHOTT SOLAR, ASI-THRU  
Dimensioner: ca.600 x 1200 mm



PHOTOSOLAR, POWERSHADE  
Dimensioner: 1810 – 1580 mm



GSK, VOLTARLUX, 3  
Dimensioner: 1230 – 1480 mm

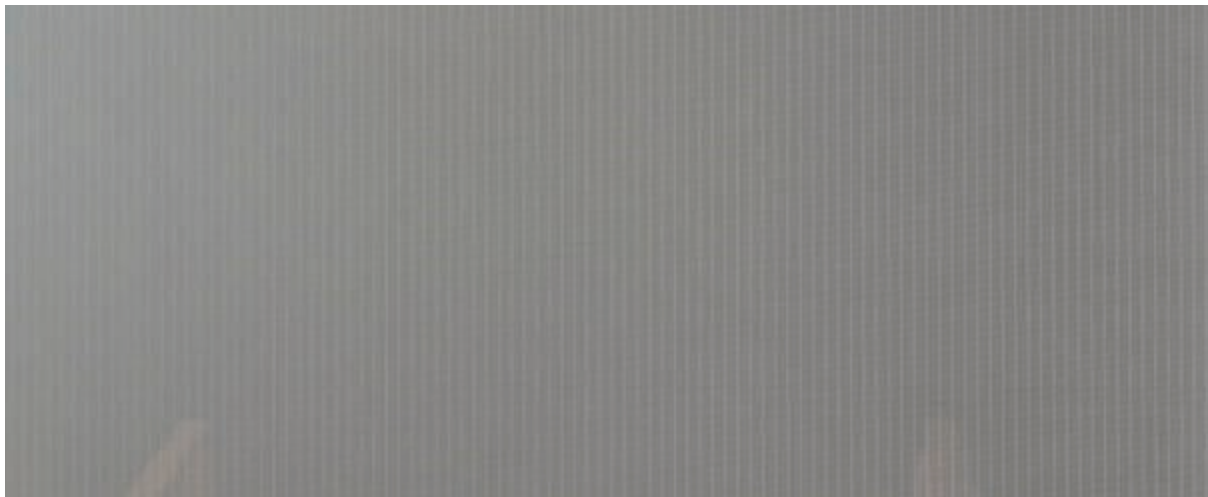
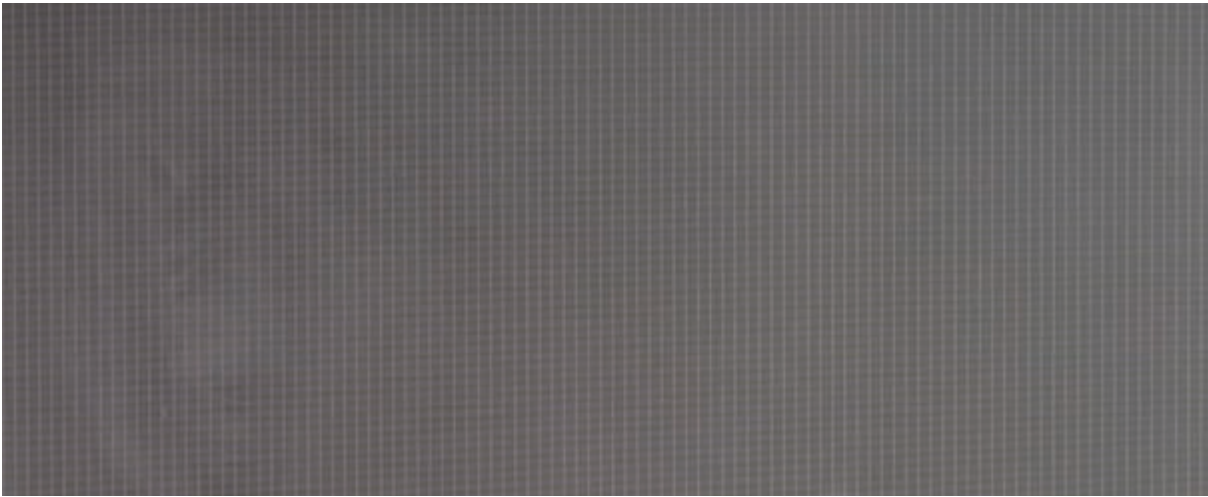


GAIA SOLAR, SI-WAFERS I TERMORUDE  
Dimensioner: 1400 x 1150 mm





LYS + ENERGI + ARKITEKTUR



## MSK, HQ PV GLASS, 44 Wp OG 50 Wp

### PRODUCENT:

MSK Corporation

[www.msk.ne](http://www.msk.ne)

### PRODUKTNAMN:

HQ Photovol Glass,

44 Wp & HQ Photovol Glass, 50 Wp

### TYPE:

Amorf silicium tyndfilm celle

### DIMENSIONER:

950 mm x 980 mm

### TYKKELSE:

10,5 mm eller 13,5 mm

KOMPONENT  
SOLCELLERNE SOM FILTER

## REGULERENDE

### LYS:

LT-værdi: 0,1 for 44 Wp og 0,04 for 50 Wp  
Lyset filteres gennem den translucente tyndfilm, samt gennem de smalle spor, der er skåret ud i tyndfilmen.

### VARME:

g-værdi, hvor solcellerne er placeret yderst i en lavenergirude; 0,09 for 44 Wp, middel og 0,7 for 50 Wp, hvilket er meget lave værdier.

### UDSYN: Åbningsgrad: 10% og 5%

Udsynet gennem komponenten er begrænset, især for MSK 50Wp. Stiller man sig helt tæt på opleves en del figur/baggrund forvirring, konturer og variationer i lys kan registreres. Farvegengivelsen af udsigten gør det svært at skelne mellem farver indenfor samme nuancer.

FACADE  
KOMPONENTEN SOM COLLAGE

**FACADEOPBYGNING:** I workshoppen er de to MSK komponenter monteret med en afstand til klimaskærm, der har 4 lysåbninger af varierende størrelse. Komponenterne kan bevæges vertikalt, og skaber sammen med lysåbningerne et fint spil i reguleringen af lys, varme og udsyn. Åbninger i facaden udgør 27%.

**LYS OG VARME:** Lysåbningernes placering i facadens fire hjørner samt de mobile komponenter øger muligheden for at opnå et godt indeklima og et varierende lysindtag. Om sommeren kan panelerne skærme for varmen, og om vinteren kan de tillade større solindfald og derved reducere opvarmningsbehovet. Facaden er et eksempel på, hvordan komponenten regulerer lyset og farverne i rummet bl.a. via sin spejlende bagside reflekterer lyset og den røde farve fra den lukkede flade ind i rummet.

RUM  
FACADEN SOM RUMGENERATOR

### LYS:

De interaktive komponenter øger muligheden for med lys at tegne rummet forskelligt afhængigt af lysåbningens placering samt lysets filtrering gennem solcellen. Dagslysfaktoren er mindre en 1% i hele rummet.

### VARME:

De mobile komponenter giver god mulighed for at regulere solindfaldet til rummet og derved optimere energiforbrug til opvarmning og køling af rummet. Om sommeren kan der afskærmes for varmen, mens der om vinteren kan åbnes for solvarmen i dagtimerne.

**UDSYN:** De fire åbninger giver en rig mulighed for regulering af hvilket frie eller filtrerede udsyn, der kan skabes fra rummet.

## KOMMUNIKERENDE

### UDTRYK:

Ydersiden af MSK har en mørkebrun -rødlig farve, der kan harmonere med den farveskala, vi ofte i Norden benytter i byggeriet med reference til naturmaterialer som tegl og natursten. Indersiden af MSK er hvid, hvilket medvirker, at det filtrerede lys blødes op, og fladen harmonerer med de lyse flader, der ofte benyttes i interiør. Både på yder- og indersiden er glasset meget spejlende.

**LYS- OG SKYGGESPIL:** Tyndfilmen er opdelt i rektangler, der måler hhv. ca. 8 x 1 mm og 8 x 2 mm, hvorimellem der er fjernet materiale. Strukturen er for lille til at den på afstand danner en ornamentering eller et mønster via lys og skyggespil. Komponentens fremstår på afstand som en homogen flade, der tegner diffuse skygger.

### UDTRYK:

Mock up'en demonstrerer hvordan de mobile MSK komponenter, sammen med den inderste facade, skaber oplevelsen af en aktiv facade, der justeres i forhold til klima, og det liv der udspilles i rummet bag facaden.

Projektet eksponerer solcellerne på en måde, så de bliver sat aktivt i spil, aktivt i dobbelt forstand da de er bevægelige, og samtidig kommunikerer, hvad der sker bag facaden. Facaden opleves som levende og interaktiv.

### UDTRYK:

I projektet benyttes komponenten til at definere rummet indefra. Der skabes 3D-effekt i facaden ved at udnytte komponentens spejlende karakter i samspil med den røde facade. Rummet kommunikerer om de frie muligheder, der er for at regulere lysindtaget og udsigten.

De interaktive komponenter skaber mulighed for variationer, og aktiverer brugeren til at forme og indtage rummet på forskellig vis.

## PRODUCERENDE

### ELEKTRICITET:

Forventet årlig strømproduktion pr. panel: 30 kWh for 44 Wp og 35 kWh for 50 Wp.

Forventet årlig strømproduktion pr. m<sup>2</sup>: 30 kWh for 44 Wp og 35 kWh 50 Wp, middel

### ELEKTRICITET:

Facaden er sydvendt, og kan derfor estimeres til at producere 65 kWh årligt.

### INDTRYK:

Facaden producerer forskellige indtryk afhængigt af MSK solcellernes placering. Indtrykket af dybden i facaden fremkommer via solcellernes afstand til den. Facaden fremstår levende, og udtrykker noget om det liv, der udspilles bagved.

### INDTRYK:

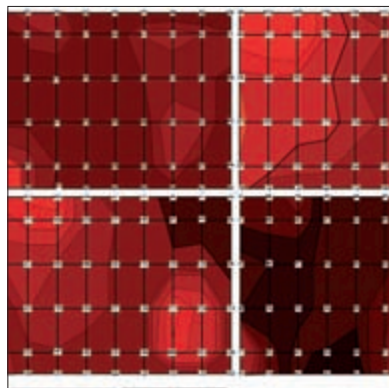
De interaktive komponenter producerer en følelse af, at man selv kan forme lyset i rummet efter egne behov. Rummet udfordrer brugeren til at lege med lyset og give rummet nye former. Facaden er 3D via solcellernes afstand til den inderste facade. Det er interessant at man indefra i solcellens spejl kan se ydersiden af facaden (den røde). Derved indeholder facaden flere perceptionelle lag.

Perceptionen af lyset gennem det åbne, filteret og spejlinger samt interaktionen med brugeren af og i rummet skaber atmosfæren i rummet.



**RUM**

FACADEN SOM RUMGENERATOR



**FACADE**

KOMPONENTEN SOM COLLAG

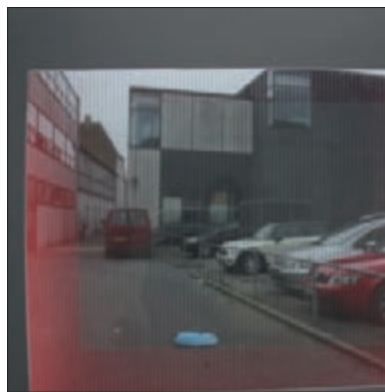


**KOMPONENT**

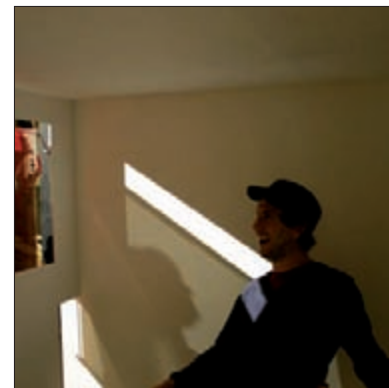
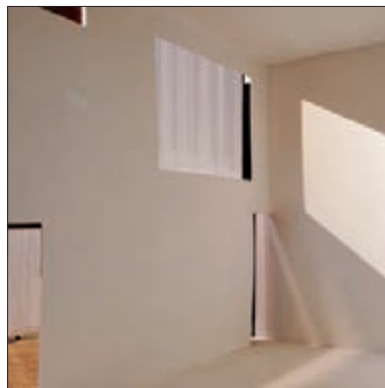
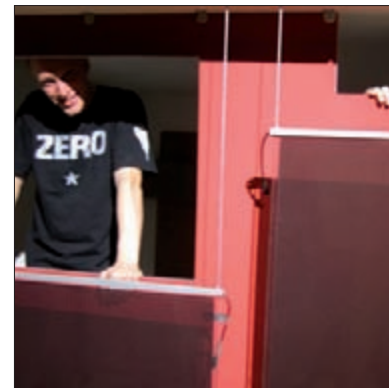
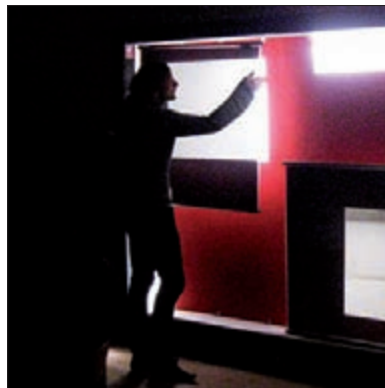
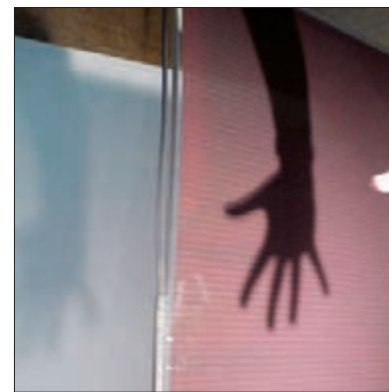
SOLCELLERNE SOM FILTER

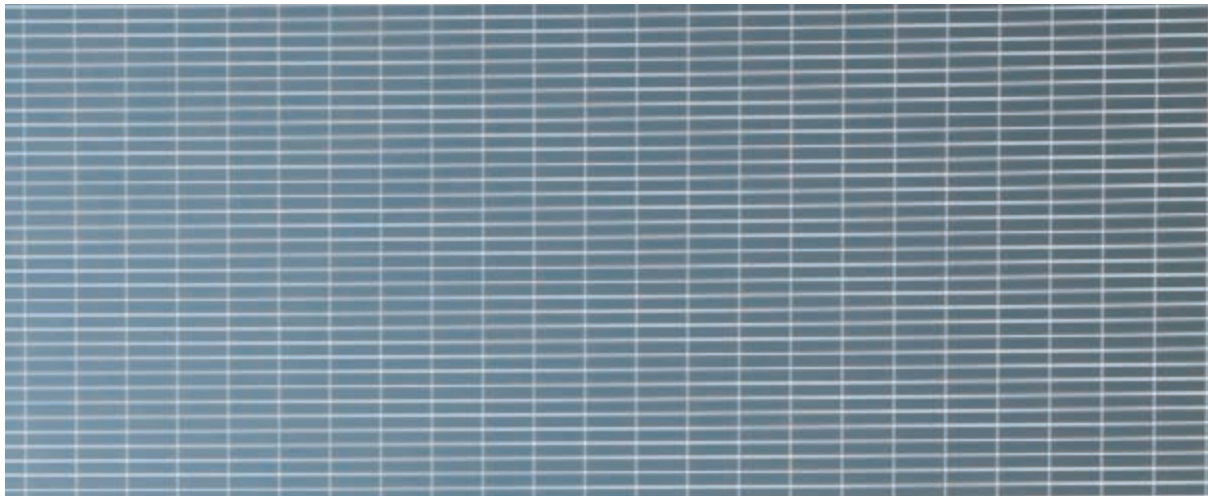
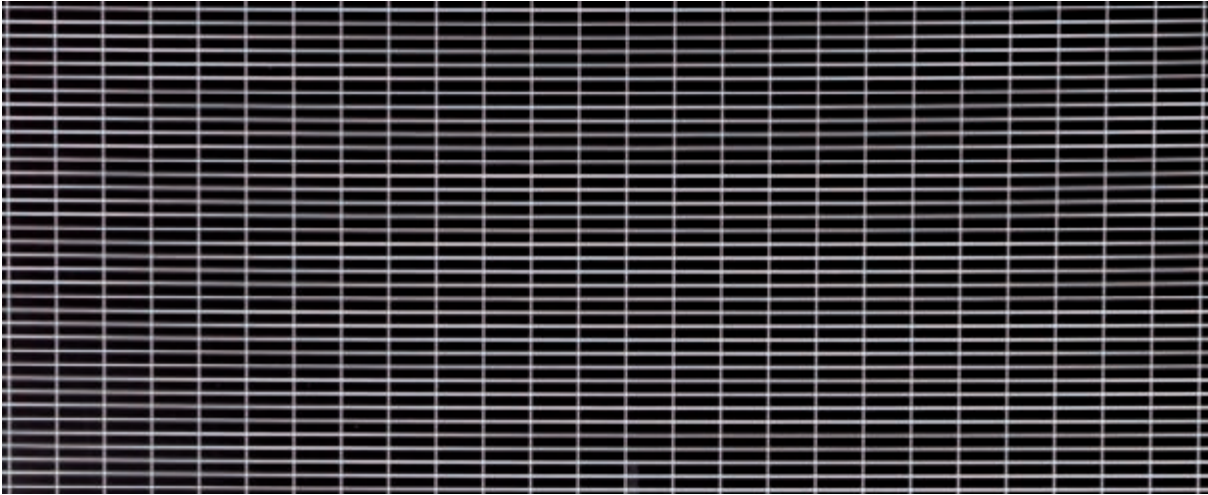


**KOMMUNIKERENDE**



**PRODUCERENDE**







## SCHOTT SOLAR, ASI-THRU

### PRODUCENT:

Schott solar

[www.schott.com](http://www.schott.com)

### PRODUKTNAMN:

ASI-THRU

### TYPE:

Amorf silicium tyndfilm celle

### DIMENSIONER:

1200 x 2400 mm

### TYKKELSE:

10 mm

KOMPONENT  
SOLCELLERNE SOM FILTER

## REGULERENDE

### LYS:

Lyset transmitteres gennem den translucente tyndfilm samt gennem de smalle transparente spor, der er skåret ud i filmen

### VARME:

g-værdi, hvor solcellerne er placeret yderst i en lavenergirude: 0,1, hvilket er en meget lav g-værdi

### UDSYN:

Åbningsgrad: 10%

Udsynet gennem Shott Solar komponenten er begrænset af de små rektangulære solcellestimler, og placerer man sig helt tæt på, vil der opstå en del forviring med hensyn til figur/baggrund.

FACADE

KOMPONENTEN SOM COLLAGE

**FACADEOPBYGNING:** Komponenten indgår i mock up'en i en facadekomposition af det åbne, det lukkede og det filtrerende. Vest facaden består af to solcellepaneler, og et lukket panel. De tre paneler kan justeres vertikalt og kan uafhængigt af hinanden skifte position i facaden. Mod øst er en enkelt komponent inorporeret sammen med en lukket facade.

**LYS OG VARME:** Denne facadeløsning giver en fleksibel løsning for regulering af lys og varme, da lys- og varmeindtag kan reguleres fra helt åbne facadeelementer over filteret til de lukkede partier.

På denne måde kommer solcellepanelerne til at fungere som solafskærmende og arkitektonisk element, der ændrer facaden efter brugernes ønsker.

RUM

FACADEN SOM RUMGENERATOR

**LYS:** Lysindtaget kan reguleres vertikalt, hvilket giver mulighed for stor variation i, hvor langt lyset kommer ind i rummet. Samtidig er der mulighed for helt af blænde af for lyset i åbningen. Dagslysfaktoren er mindre end 1% i hele rummet.

**VARME:** De mobile komponenter giver god mulighed for at regulere solindfaldet i rummet og derved optimere energiforbrug til opvarmning og køling af rummet. Om sommeren kan der afskærmes for varmen, mens der om vinteren kan åbnes for solvarmen i dagtimerne.

**UDSYN:** Den vertikale regulering af udsyn giver gode muligheder for regulering af udsyn i forhold til øjenhøjde eller ønske om at indramme en bestemt udsigt.

## KOMMUNIKERENDE

**UDTRYK:** Ydersiden af Schott Solar har en mørk brun -rødlig farve. Indersiden af komponenten er en reflekterende, blank, lys, grå overflade (lysere end MSK), hvilket medvirker, at det filtrerede lys blødes op, og fladen harmonerer med lyst interiør. Både på yder- og inderside har glasset en spejlende effekt. Tyndfilmen er opdelt i rektangler (ca. 18 x 5 mm) via de transparente spor (ca. 0,5 mm), disse opdelinger er større end i MSK og Isolar(GSK).

**LYS- OG SKYGGESPIL:** Ved observationer nær komponenten er lys- og skyggetegning tydeligere end ved MSK og GSK, da celleopdelingen er større. En ornamentering fremkaldes i skyggetegningen. På afstand kan der ikke registreres skyggetegning, idet panelet fremstår reflekterende og homogen.

### UDTRYK:

De mobile semi-transparente komponenter understreger oplevelsen af facaden som åben, lukket og transparent. Projektet eksponerer solcellerne på en måde, så de bliver sat aktivt i spil, da de er bevægelige, og samtidig kommunikerer, hvad der sker bag facaden. Der arbejdes med flere lag, hvilket giver mulighed for at filtrere lyset igennem to lag filtre. På denne måde kommunikerer facaden om solcellepanelerne ikke som et vindue, men som et ekstra lag, der kan være med til at skabe nye facadeudtryk.

### UDTRYK:

Rummet er bygget op omkring den sorte rammekonstruktion med hvide vægge imellem. Rammerne er synlige indvendigt, og fungerer som karm for solcellepanelerne, hvilket giver et harmonisk og stilrent udtryk i rummet med reference til japansk arkitektur.

### LYS- OG SKYGGESPIL:

De lysregulerende solcellekomponenter sammenstillet med at de to lysåbninger, er placeret forskudt for hinanden i de to langsider. Det tegner et behageligt og roligt rum. Men også et rum der er foranderligt. Det diffuse lys skaber en neutral stemning, der brydes af det mere karakterfulde 'indrammede' lys.

## PRODUCERENDE

### ELEKTRICITET:

Forventet årlig strømproduktion pr. panel: 20 kWh  
Forventet årlig strømproduktion pr. m²: 30 kWh

### INDTRYK:

Oplevelsen af lysets variation er meget stærk i denne komponent. Afhængigt af lyskildens placering skifter komponenten karakter, hvilket skaber et interessant lys/skyggespil.

### ELEKTRICITET:

Energiproduktionen er reduceret pga. solcellernes øst-vest orientering. Facaden kan derfor estimeres til at producere omkring 60 kWh årligt, når alle paneler er eksponerede. En reduktion i energiproduktionen kan forventes, når de mobile komponenter er placeret udenpå hinanden.

### INDTRYK:

Facaden producerer indtryk, der afhænger af hvordan solcellerne er placeret. De velproportionerede opdelinger i facaden samt det præcist definerede felt til solcellerne giver indtryk af ro og harmoni med reference til 'japansk arkitektur'.

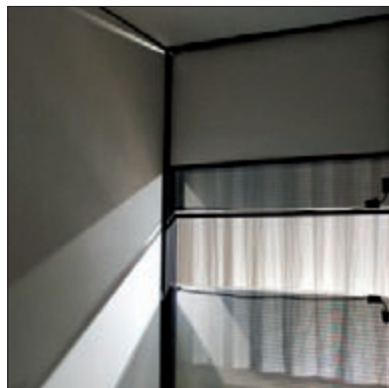
### INDTRYK:

Spejlingerne i panelerne bruges aktivt til at udtrykke såvel et visuelt/oplevet rum som et fysisk rum. Spejlene/solcellerne guider/kommunikerer hvordan man bevæger sig i rummet, som perceptionelt ændrer karakter, alt efter hvor i rummet man befinder sig. På trods af at spejlene 'snyder' rumligt, opleves rummet som ekspressivt men også behageligt og roligt. Det er som om, spejlene er med at udvide rummet, uden at de ophæver rummets beskyttende og definerede fysik.



**RUM**

FACADEN SOM RUMGENERATOR



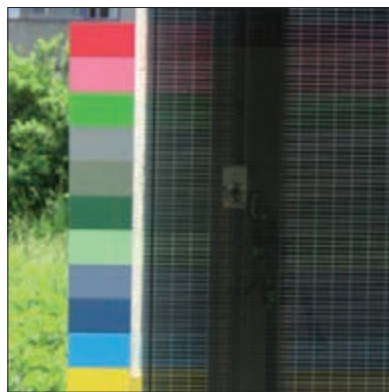
**FACADE**

KOMPONENTEN SOM COLLAGE

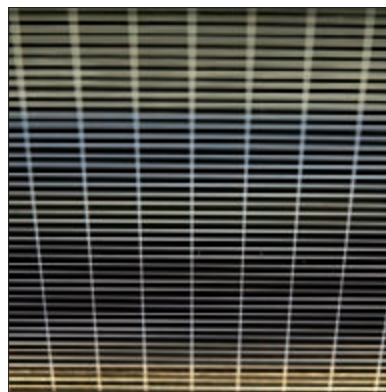


**KOMPONENT**

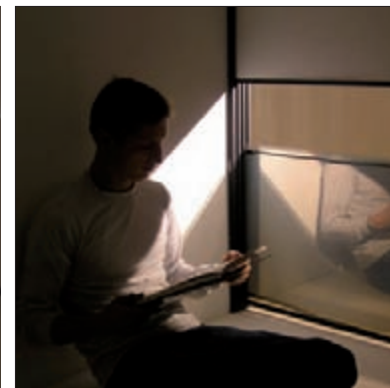
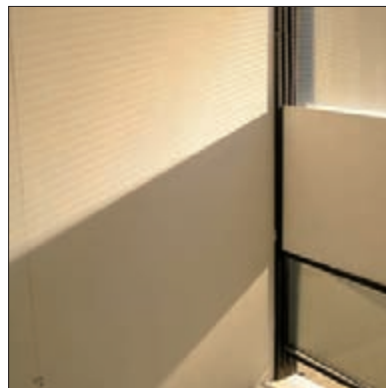
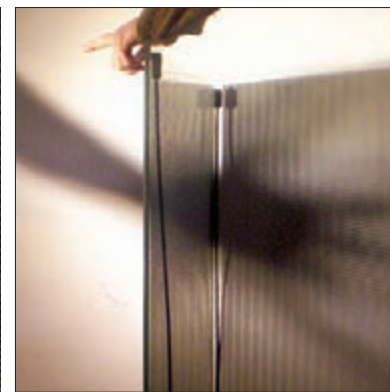
SOLCELLERNE SOM FILTER



**KOMMUNIKERENDE**

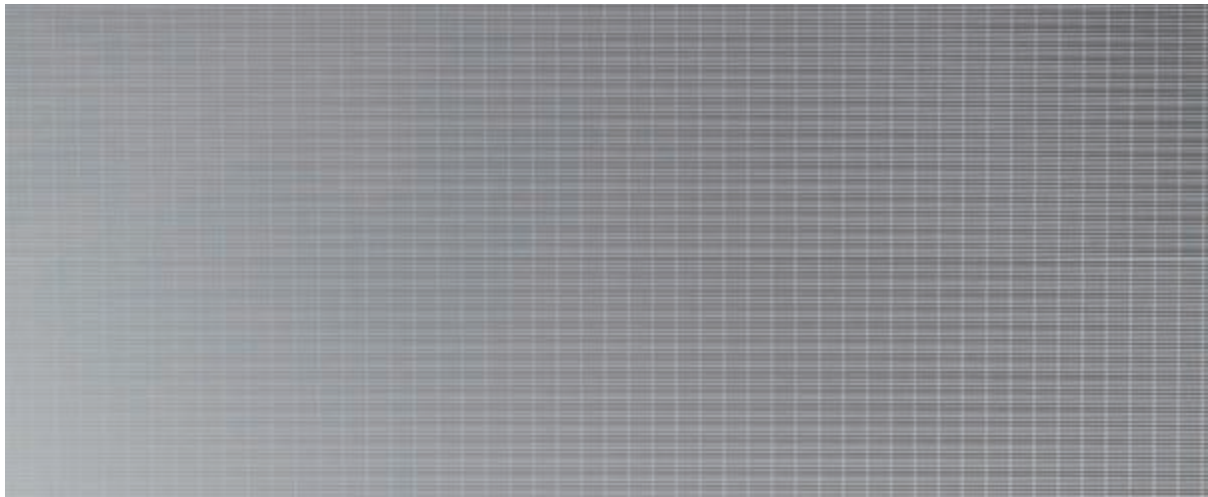
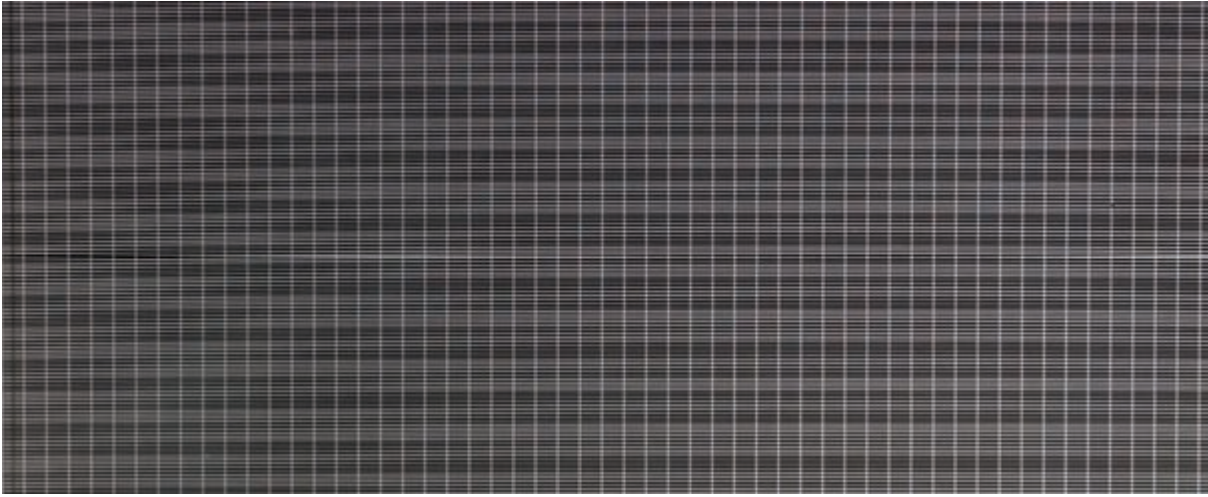


**PRODUCERENDE**





LYS + ENERGI + ARKITEKTUR



42

GSK, VOLTARLUX, 3

PRODUCENT:  
ISOLAR GLAS  
[www.isolar.de](http://www.isolar.de)

PRODUKTNAMN:  
VOLTARLUX® transparent

TYPE:  
Amorf silicium tyndfilm celle

DIMENSIONER:  
1230 – 1480 mm

TYKKELSE:  
10 mm



KOMPONENT  
SOLCELLERNE SOM FILTER

## REGULERENDE

### LYS:

Lyset transmitteres gennem den translucente tyndfilm samt gennem de smalle transparente spor, der er skåret ud i filmen

### VARME:

g-værdi, hvor solcellerne er placeret yderst i en lavenergirude: 0,15, hvilket er en meget lav g-værdi

### UDSYN:

Åbningsgrad: 20%

Udsynet gennem GSK komponenten er hæmmet, og placerer man sig helt tæt på, vil der opstå en del figur/baggrund forvirring. Farvegengivelsen gør det svært at skelne mellem farverne grå og army grøn samt blå og grå blå.

FACADE  
KOMPONENTEN SOM COLLAGE

**FACADEOPBYGNING:** Mock up'en er beklædt med hvide translucente materialer. Solcellen udgør et af disse lag.

**LYS:** LT-værdien for facaden er ikke målt, men vil være højere end solcellens, da den translucente facadebeklædning transmitterer mere lys ind i rummet end solcellen. Solcellen er stationær, og blokerer for lys- og varmeindtag via sit filter. I dobbeltfacaden mellem solcellen og det translucente materiale kan der placeres andre materialer, derved kan lys- og til dels varmeindtag reguleres.

**VARME:** Komponentens vil reducere solindfaldet til rummet og derved reducere et evt. kølebehov om sommeren.

**UDSYN:** Der er intet udsyn, idet de øvrige facader er beklædt med et ikke transparent materiale

RUM  
FACADEN SOM RUMGENERATOR

### LYS:

Solcellekomponenten skaber sammen med det translucente facademateriale et diffust lysindtag fra alle fire sider, og skaber et lyst rum med spredt lys og få skygger. Der kan forekomme blænding. Der er ingen mulighed for regulering af lyset. Dagslysfaktoren er lidt højere end 1% lige indenfor vinduet, mens resterende del af rummet er dagslysfaktoren under 1%

**VARME:** Komponentens er i denne løsning med til at regulere solens indfald til rummet og reducerer derved kølebehovet og overophedningsrisikoen i rummet, men øger opvarmningsbehovet. Løsningen mangler mulighed for regulering af lys- og varmeindtag.

**UDSYN:** Der er ikke udsyn.

## KOMMUNIKERENDE

### UDTRYK:

GSK er sort på ydersiden og lysegrå på inder-siden. Tyndfilmen er opdelt i rektangler (ca. 16,5 x 3 mm). Strukturen er meget finmasket, og opleves derfor kun når man er tæt på, hvorimod den på afstand opleves som en homogen flade. Ornamenteringen er neutral af udtryk. Glasst har en spejlende karakter.

### LYS OG SKYGGESPIL:

Strukturen er for finmasket til at der opstår visuelle skyggevirkninger i komponenten. Komponentens fremstår som en homogen flade, der tegner diffuse skygger.

### UDTRYK:

Mock up'en demonstrerer, hvordan solcellefilteret i en helt translucent facade fremstår som den mørke solafskærmende komponent, der via skyggerne skaber effekter.

Set udefra har komponenten en effekt i sin transparente karakter, men stærkest virker den spejlende karakter, der reflekterer omgivelserne og derved skaber interferens.

Rummet/facaden vil udefra fremstå interessant i spillet mellem dag/nat situationer, da det om natten vil oplyse kontekst. Der kan fremkomme interessante skyggevirkninger indefra projiceret op på facaden.

### UDTRYK:

Dette rum fremstår helt anderledes, end rum man normalt oplever, da der udelukkende er arbejdet med det translucente lys i mock up'ens fire facader. Solcellen er ubetydelig for oplevelsen af lyset i rummet. Der er ingen kontakt mellem inde og ude.

### LYS OG SKYGGESPIL:

Det er svært at definere rummets afgrænsning, da lyset er meget diffust. Tekstur forsvinder.

## PRODUCERENDE

### ELEKTRICITET:

Forventet årlig strømproduktion pr. panel: 30 kWh

Forventet årlig strømproduktion pr. m<sup>2</sup>: 15 kWh

### INDTRYK:

GSK giver indtryk af at være nemt at integrere i en facade, hvor dets translucente og reflekterende karakter kunne bidrage til bygningsens arkitektoniske udtryk.

### ELEKTRICITET:

Facaden i mock up'en er sydvendt og kan samlet estimeres til at producere 30 kWh årligt.

### INDTRYK:

Udefra fremstår solcellekomponenten som det mørke parti i facaden. Der er meget lidt kontakt gennem panelet til det der udspilles indenfor. Indefra fremstår facaden let og diffus, det er svært at bedømme dybden i den dobbelte facade.

### INDTRYK:

Det er svært at få indtryk af rummets afgrænsning, da lyset er meget diffust. Tekstur og detaljer forsvinder, og opmærksomheden henledes på nuancerne i de skyggekastninger, der skabes fra solcellen og kontekst, som skyerne der går for solen, slagskygger fra forbipasserende eller fra andre bygninger. Rummet producerer en følelse af meditativ koncentration, en afslappet atmosfære, hvor brugeren ikke bliver forstyrret af udefra kommende indtryk. Det er et introvert rum, der egner sig til funktioner, der kræver ro og ensartet lys for at sindet bringes væk fra tid og sted.



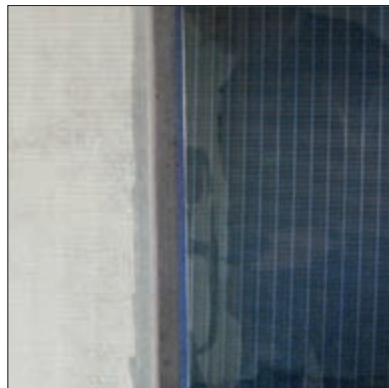
**RUM**

FACADEN SOM RUMGENERATOR



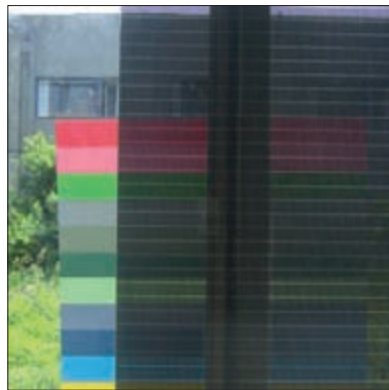
**FACADE**

KOMPONENTEN SOM COLLAGE

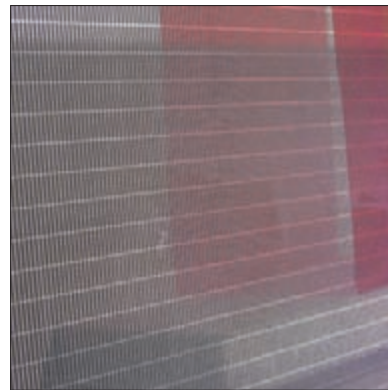


**KOMPONENT**

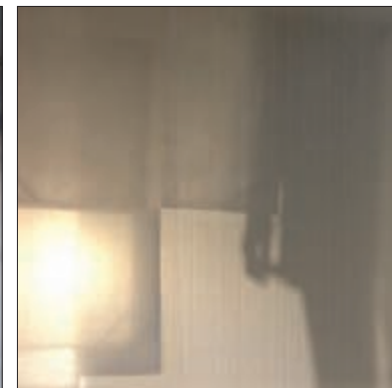
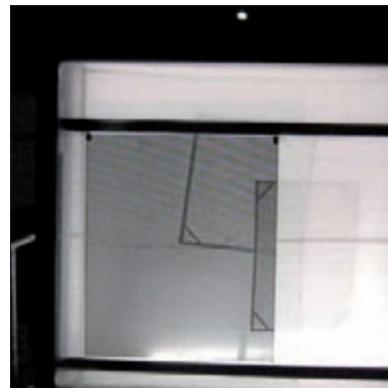
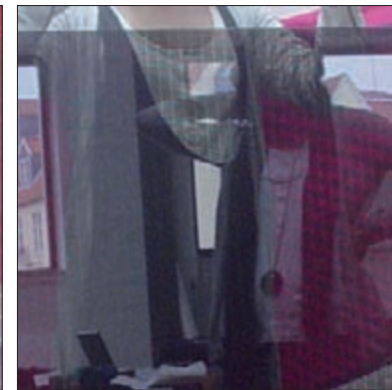
SOLCELLERNE SOM FILTER



**KOMMUNIKERENDE**

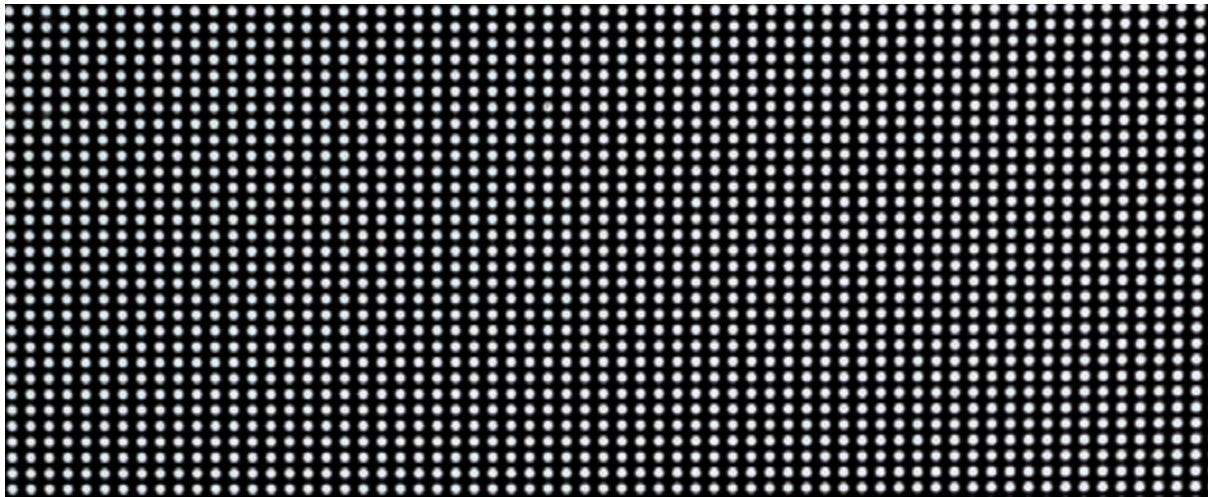
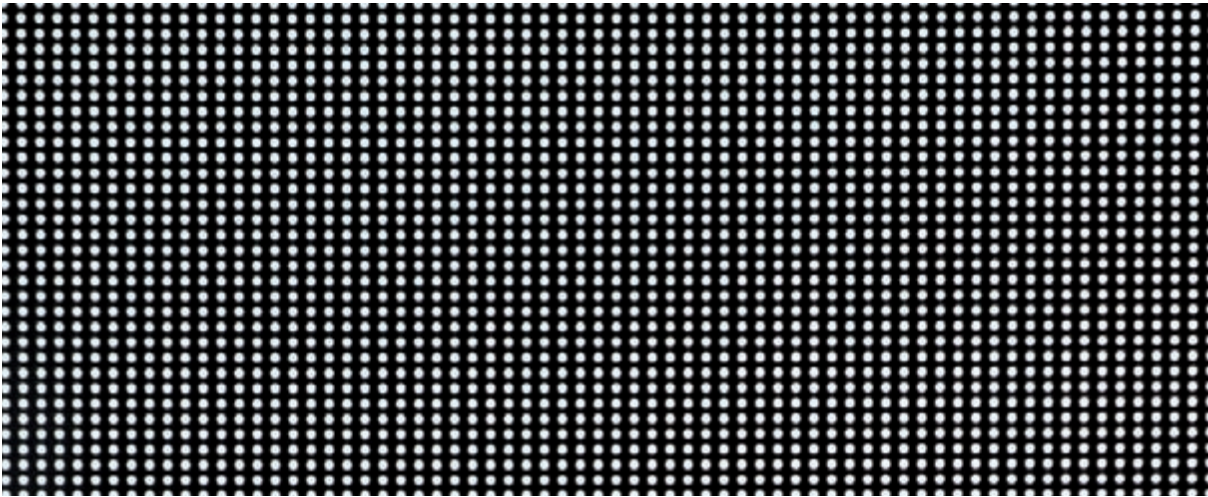


**PRODUCERENDE**





LYS + ENERGI + ARKITEKTUR





WÜRTH SOLAR,  
WSS0007, WSS0008, WSS0009

PRODUCENT:

Würth solar

[www.wuerth-solar.de](http://www.wuerth-solar.de)

PRODUKTNAMN:

WSS0007, WSS0008 & WSS0008

TYPE:

CIS (copper-indium-diselenide), tyndfilm celle

DIMENSIONER:

605 x 1205 mm

TYKKELSE:

31-35 mm





KOMPONENT  
SOLCELLERNE SOM FILTER

FACADE  
KOMPONENTEN SOM COLLAGE

RUM  
FACADEN SOM RUMGENERATOR

REGULERENDE

LYS: LT-værdi: 0,16 for WSS0007, 0,15 for WSS0008 og 0,06 WSS0009

VARME: g-værdi, hvor solcellerne er placeret yderst i en lavenergiude: 0,09 for WSS0007, 0,15 for WSS0008 og 0,16 for WSS0009, hvilket er meget lavt

UDSYN: Åbningsgrad: 8% for WSS0007, 21% for WSS0008 og 22% for WSS0009

De små huller i panelerne er med til at reducere udsynet og skabe forvirring med hensyn til figur/baggrund, når man placerer sig helt tæt på. Farvegengivelsen igennem panelerne er tydeligst i WSS0007, der har de største huller. Ved reducering af hulstørrelse forringes farvegengivelsen.

FACADEOPBYGNING: Tre komponenter er placeret over hinanden i mock up'ens to langsider mod øst og vest, hvor de udgør et felt, der spænder fra gulv til loft. I facaden mod syd findes vertikale skråtstillede lameller, der ligeledes spænder fra gulv til loft.

LYS OG UDSYN: WSS0009 med lavest lystransmittans er placeret øverst, hvilket reducerer blænding fra himmellys og direkte sollys, hvor det oftest kan give gene. Samtidig lukker facaden yderligere for udsyn til omgivelserne, hvilket medfører, at udsynet fra de lodrette lameller i sydfacaden fremstår mere markant. Lamellerne kunne med fordel udføres, så de kan justeres efter dagslysf forholdene. Ved siden af komponenterne er der placeret 12 skydelåger, der regulerer lys, ventilation og udsyn.

LYS: Dagslysfaktoren er lidt højere end 1% lige indenfor vinduet for WSS0007 og WSS0008, mens den resterende del af rummet har en dagslysfaktor under 1%. For WSS0009 er dagslysfaktoren mindre end 1% i hele rummet.

VARME: Komponenterne vil reducere solindfaldet, og derved reducere et evt. kølebehov om sommeren, men de vil også reducere solindfaldet om vinteren og dermed forøge opvarmningsbehovet.

UDSYN: Solcellekomponenterne kan skydes til siden og give frit udsyn. I spejlingerne i den østvendte facade er der udsyn mod vest mellem lamellerne. Effekten heraf er ekstra stor ved solnedgang.

KOMMUNIKERENDE

UDTRYK: Würth Solar panelet er sort og blankt på ydersiden og solvspejlende på indersiden. Små cirkulære transparente huller (diameter ca. 2,5-3,5 mm) i det 100% lysblokerende solcellemateriale tegner linier i panelet mellem tynde tråde, de elektriske ledere. Würth Solar fremstår ekspressivt med en high-tech karakter fremkaldt af de sorte og spejlende flader samt de regulære hulmønstre. De tre komponenter har forskellige hulstørrelser, og derved transparens og transmittans.

LYS OG SKYGGESPIL: Lyset filteres udelukkende igennem de transparente cirkulære huller, hvilket fremkalder et karakterfuldt og kontrastfuldt lys og skyggespil. Komponenten har på såvel yder- som inderside en spejlende karakter, der er stærkest, når panelet ses fra siden. Transparensen øges derimod ved mere frontal fokus.

UDTRYK: De sorte solcellekomponenter fremstår udefra mørke og om dagen lukkede, og kan med fordel, som i mock up'en, integreres i en facade med andre mørke komponenter. Om aftenen vil komponenterne blive gennemlyst indefra med stor effekt.

UDTRYK: Würth Solar syner som et meget markant og interessant element i rummet. Der er skabt et stramt men poetisk rum. Lysindtaget fra tre sider er behageligt. Samtidig er der en spænding i rummet, der skabes via de modstående, spejlende solceller, der udvider rummet visuelt/perceptionelt på tværs. Spejlingen af lamellerne i solcellepanelerne skaber mod øst oplevelser af åbenhed og udsigt, mens lamellerne i de vestvendte solceller spejles som lysninger, der graderer dagslysinndtaget, uden mulighed for udsyn. Dette er et godt eksempel på, hvordan solcellekomponenter kan skabe effekter med rumlighed, lysindtag, forhold inde/ude og spejlinger. Hele rumoplevelsen understreges ved at benytte den ophængte gyng.

PRODUCERENDE

ELEKTRICITET: Forventet årlig strømproduktion pr. panel: 45 kWh for WSS0007, 30 kWh for WSS0008 og 25 kWh for WSS0009. Forventet årlig strømproduktion pr. m²: 60 kWh for WSS0007, 40 kWh for WSS0008 og 35 kWh for WSS0009

INDTRYK: Würth Solar opleves fascinerende stram og kontrastfuld i materialer og lysindfald, hvilket også udfordrer til at bruge de muligheder, der ligger i at arbejde med spejlinger og refleksioner projiceret over hulmønstret.

ELEKTRICITET: Var de solcelleintegrerede facader sydvendt, ville de producere 100 kWh årligt. Idet de vender øst-vest, forventes de at producere 74 kWh årligt.

INDTRYK: Facaden skaber et indtryk af teknologisk, kolid elegance gennem de sorte, blanke solcellekomponenter i den sorte facade.

INDTRYK: Würth Solar komponenterne lukker for udsyn, men åbner for et visuelt rum via panelernes spejlinger, som skaber et uendeligt rum på tværs af det fysiske rum. Samtidig understreges mulighederne i de forskellige oplevelser mellem inde/ude og forskellige lysindtag/refleksioner. Rummet skærper vores sanser, og løfter os ud af en fast fysisk forståelse af virkeligheden – en let og dynamisk atmosfære, hvor individet er i spil, og det er kroppens placering og øjnenes fokusering, der skaber rummet.







**RUM**

FACADEN SOM RUMGENERATOR



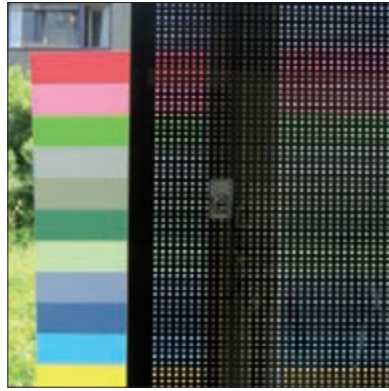
**FACADE**

KOMPONENTEN SOM COLLAGE



**KOMPONENT**

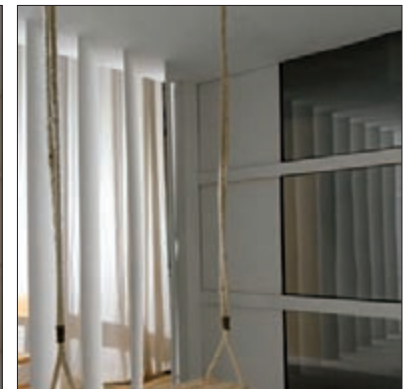
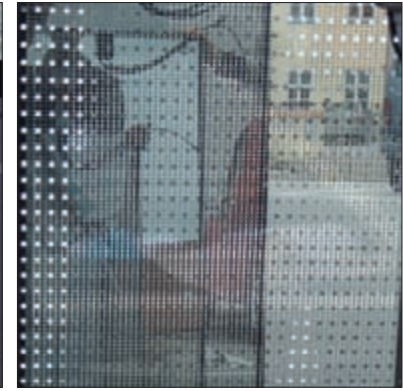
SOLCELLERNE SOM FILTER

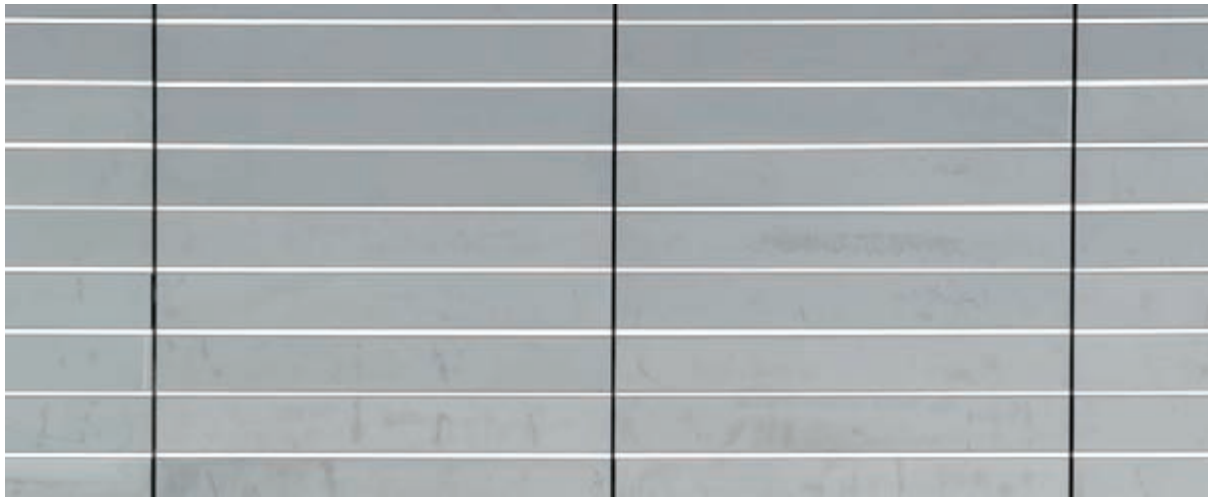
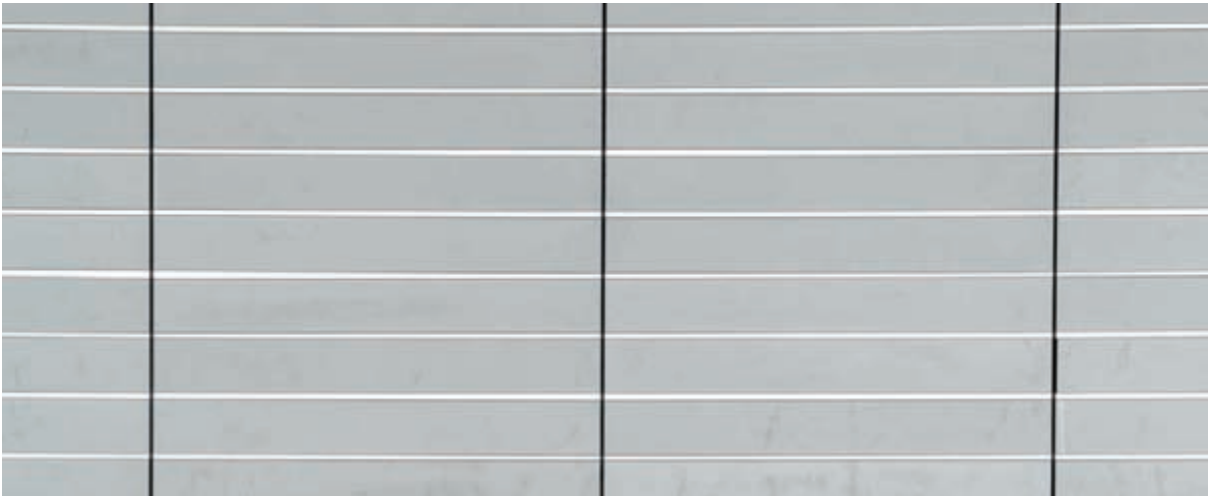


**KOMMUNIKERENDE**



**PRODUCERENDE**







## PHOTOSOLAR, POWERSHADE

### PRODUCENT:

Photosolar

[www.photosolar.dk](http://www.photosolar.dk)

### PRODUKTNAVN:

Powershade (en prototyppe på "Microshade")

### TYPE:

Amorf silicium tyndfilm celle

### DIMENSIONER:

1810 – 1580 mm

### TYKKELSE:

27 mm

Vurdering af PowerShade er foretaget på baggrund af en prototype. Egenskaberne for det endelige produkt kan varierer herfra. Oplysninger om ydelse og åbningsgrad er oplyst af producent.



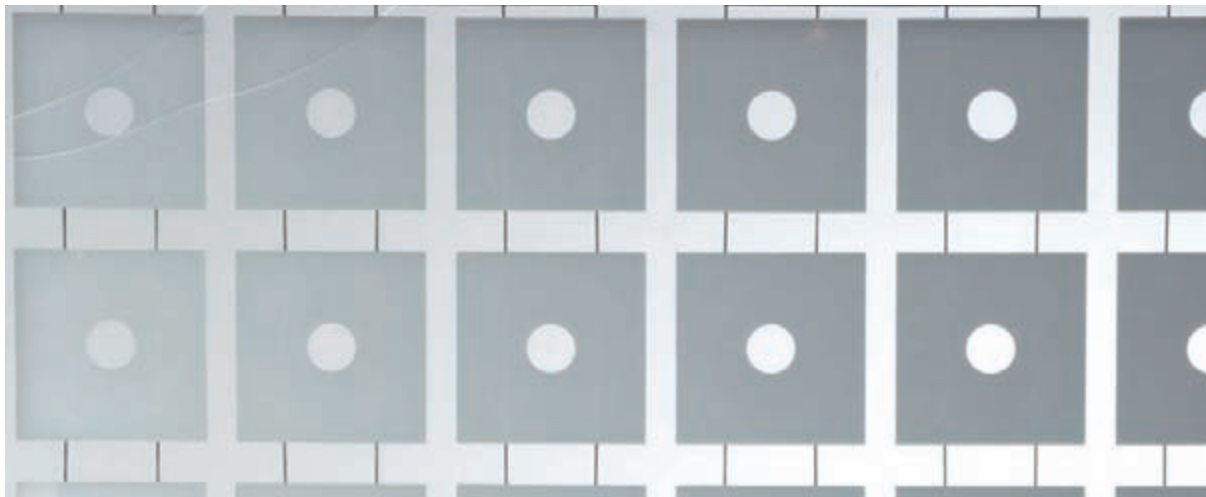
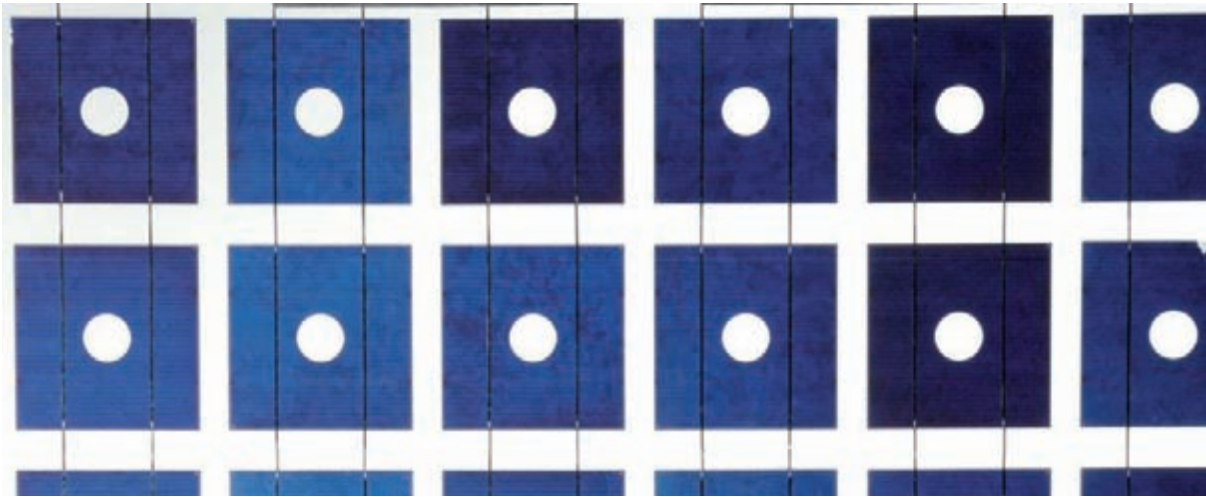
		REGULERENDE	KOMMUNIKERENDE	PRODUCERENDE
KOMPONENT FACADE RUM	KOMPONENT SOLCELLERNE SOM FILTER	<p>LYS: LT-værdi: 0,22. Powershade har høj LT, men for at give nok dagslysindtag for almindelige rum kræves større solcelleareal i eller suppleret med traditionelle ruder. Lysmålinger viser, at der kan forekomme blænding og visuel diskomfort, hvilket kræver yderligere afskærmning.</p> <p>VARME: g-værdi hvor solcellerne er placeret yderst i en lavenergirude: 0,09-0,23. G-værdien afhænger af solhøjden og dermed af årstiden, lavest om sommeren og højest om vinteren. G-værdien varierer således mellem meget lav og meget høj.</p> <p>UDSYN: Åbningsgrad: 45%, høj. Den horisontale struktur i solcellerne fremstår markant. Er bedst egnet til udsigt med en fjern horisont. Farveegenskabsniveauet af udsigten er god.</p>	<p>UDTRYK: Powershade er bygget op af horisontale striber af transparente solceller med klare smalle striber imellem. Solcellerne er perforerede med vinklede mikro-huller, som skaber det transparente udseende, og skærmer for det høje lys. Mønsteret er defineret ud fra komponentens effektivitet. Komponentens udseende kommunikerer om dens funktion som solcelle og afskærmning. Den horisontale opstilling opleves dominerende, da den er meget retningsgivende.</p> <p>LYS OG SKYGGE: De vinklede mikro-huller afskærmer for det høje himmellys. Derved er lysindtaget meget påvirket af, hvilken kontekst der er overfor, hvorfra lyset reflekteres ind i rummet. Opstillingen tegner et meget markant skyggemønster</p>	<p>ELEKTRICITET: Forventet årlig strømproduktion pr. panel: 80 kWh Forventet årlig strømproduktion pr. m²: 44 kWh Disse tal er estimeret da komponenten er under udvikling, og dette panel endnu ikke producerer elektricitet.</p> <p>INDTRYK: Den horisontale opstilling giver indtryk af en stram ornamentik. Denne opvejes dog af, at panelerne er meget transparente og derved opleves lette og med et blødt lysindfald i kombinationen mellem de translucente solcellebånd og de transparente mellemrum.</p>
	KOMPONENT SOM COLLAGE	<p>FACADEOPBYGNING: Gruppen udviklede en alternativ mere retningsløs solcellestruktur. De to komponenter er monteret i hver sin modstående facade i mock up'en.</p> <p>LYS: Komponentens vinklede selektivitet reducerer transmittansen af det høje direkte sollys men reducerer også himmellysindtaget, hvilket er et problem, når det er overskyet. Der er ingen regulering af lyset i facadeopbygningen, solafskærmning vil være nødvendig, især ved lavere solvinkler.</p> <p>VARME: Komponentens har en vinklede selektiv g-værdi, hvilket betyder, at den om sommeren vil reducere kølebehovet samtidig med, at komponenten vil lukke mere sol ind om vinteren og derved forøge opvarmningen.</p> <p>UDSYN: Det retningsløse mønster giver færre figurforstyrrelser.</p>	<p>UDTRYK: PhotoSolar facaden kommunikerer om et translucent og semitransparent filter, der er placeret som en visuel ornamentering mellem ude og inde. Udefra giver lysets spil i solcellefacades et liv i facaden og en let ornamentering, der kan fremstå mere imødekomende end traditionelle glasfacader.</p>	<p>ELEKTRICITET: Energiproduktionen er reduceret pga. øst-vest orienteringen. Det udviklede mønster har samme solcelleareal og transmittans og derfor i teorien den samme ydelse som det originale Powershade panel, 80 kWh pr panel eller 44 kWh pr m². Med reduktion for at de er øst og vestvendte svarende til 55 kWh pr. panel</p> <p>INDTRYK: En højteknologisk facade med æstetiske potentialer, da der er en fin balance i kontakten mellem inde og ude, ornamentet og rummet.</p>
	KOMPONENT SOM RUMGENERATOR	<p>LYS OG VARME: PowerShade har en indbygget årstidsregulerende effekt på solindfaldet, vinklede selektiviteten, der skærmer for en stor del af solindfaldet om sommeren, men tillader mere solvarme at trænge ind i rummet om vinteren. Man kan derfor opnå reduktion af overophedningsproblemer og kølebehov, uden at det medfører øget opvarmningsbehov.</p> <p>Dagslysfaktoren er lidt højere end 1% lige indenfor vinduet, mens den resterende del af rummet har en dagslysfaktor på under 1%.</p>	<p>UDTRYK: I dette projekt har gruppen arbejdet med solcellernes udformning for at fremkalde en anden ornamentering af rummets lys end det, det originale horisontalt opdelt panel fremkalder.</p> <p>LYS- OG SKYGGE: Lys- og skyggespil bliver en ornamentering i rummet. Skyggetegningerne har et ekspresivt og præcist udtryk, som tegnes smukt i rummet, og angiver en fin struktur og behagelig skala men også et dominerende element for rummets karakter.</p>	<p>INDTRYK: Lys og skyggespil fra solcellekomponenten skaber et rum, hvor man har lyst til at 'slå sig ned'. Den store gule pude, der er placeret på gulvet i rummet, indikerer fint den stemning, der opstår med de bløde skyggetegninger. Solcellekomponenterne formidler en kontakt med omgivelserne, og på samme tid afskærmer de tilpas meget til at skabe fornemmelsen af rum og privathed. Tæt på solcelleruden kan lyset opleves blændende, men inde i rummet skaber skyggespillet en atmosfære, der på en gang er dynamisk og roligt samt meget karakterfuld. De karakterfulde lys- og skyggetegninger giver indtryk af forskellige 'lysrums' i rummet.</p>



	REGULERENDE	KOMMUNIKERENDE	PRODUCERENDE
KOMPONENT SOLCELLERNE SOM FILTER			
FACADE KOMPONENTEN SOM COLLAGE			
RUM FACADEN SOM RUMGENERATOR			









## GAIA SOLAR, SI-WAFERS I TERMORUDE

### PRODUCENT:

Gaia Solar

[www.gaiasolar.dk](http://www.gaiasolar.dk)

### PRODUKTNAVN:

-

### TYPE:

Poly og mono krystallinsk silicium celle  
Skive – baseret krystallinsk silicium

### DIMENSIONER:

1400 x 1150 mm

### TYKKELSE:

30 mm

\* I det illustrerede panel er der eksperimenteret med udskæring-  
er i solcellerne. De paneler der er anvendt i dette projekt,  
herunder workshopen er uden udskæringer.



KOMPONENT  
SOLCELLERNE SOM FILTER

FACADE  
KOMPONENTEN SOM COLLAGE

RUM  
FACADEN SOM RUMGENERATOR

REGULERENDE

LYS:

LT-værdi: 0,22, høj  
Lyset transmitteres gennem ruden, mellem de lysblokerende solcellewafer. Der er ingen translucente elementer i komponenten, hvorfor der opstår store kontraster mellem de mørke solceller og de transparente felter imellem disse.

VARME:

g-værdi, hvor solcellerne er placeret yderst i en lavenergirude: 0,23, hvilket er lavt.

UDSYN: Åbningsgrad: 34%. Udsynet gennem komponenten er begrænset af de kvadratiske solcellewafer, der tegner en markant struktur. Men tæt på ruden opleves direkte udsyn igennem glasset imellem solcellerne. Farvegengivelsen af udsigten er gennem det klare glas god.

KOMMUNIKERENDE

UDTRYK: Solcellerne er klassiske blå polykristallinske silicium celler.  
Komponentens udtryk fremkommer af solcellernes kvadrater (15,5 x 15,5 cm) der er placeret i et regulært grid med et mellemrum. I et af panelerne er der udskåret en cirkel i solcellerne, hvilket gør komponenten mere transparent.  
LYS OG SKYGGESPIL: Traditionelt er denne type transparente Si-wafer integreret imellem to laminerende ruder, der udgør det yderste lag i en rudekonstruktion. I denne komponent er solcellen fastgjort på én rude, nemlig på ydersiden af den inderste rude i en traditionel 2-lags rude. Ud over det materialebesparende i denne konstruktion, skabes der en interessant refleksion af solcellerne mod det yderste lag glas set indefra. Dette betyder, at komponenten får et interessant 3D-udtryk.

UDTRYK:

Facadeudtrykket er meget domineret af de blå solceller, deres størrelse og struktur. De transparente felter mellem cellerne udtrykker gennemsyn, spænding og kontakt til det liv, der udspilles indenfor. De traditionelle solceller såvel som de elektriske ledere er let genkendelige, og signalerer (kommunikerer) at her produceres energi.

UDTRYK: I projektet sammenstilles komponenten med skærme, således kan de sammen interagere med lys- og skyggevirkningen og skabe et helt specielt rumligt udtryk. Herudover er der arbejdet med rummets form, idet den modstående væg samt loft og gulv fremstår som én kurvet sammenhængende form. Denne form bliver udtryksfuld, når de regulære skygger tegner sig blødt på bagvæggen.

Skærmene bløder meget op for lyset, og skaber differentierede skyggevirkninger og smukke formtegninger i mødet mellem de hårde og bløde former. Afstanden mellem facade og filter skaber interessante refleksioner af lyset og muligheder for udkig, uden det direkte dagslys transmitteres ind i rummet.

PRODUCERENDE

ELEKTRICITET:

Forventet årlig strømproduktion pr. panel: 100 kWh, høj  
Forventet årlig strømproduktion pr. m²: 65 kWh, høj

INDTRYK:

Disse traditionelle siliciumwafer med relativt store solceller har i skala, ornamentering samt udvendig farve en karakter, der efterlader et indtryk af en dominerende komponent.

ELEKTRICITET:

Komponenten er placeret i den sydvendte facade, og kan estimeres til at producere 100 kWh årligt.

INDTRYK:

Facaden producerer et indtryk af noget meget stringent og teknologisk. Der fremkommer en del interessante spejlinger i strukturen, bl.a. via de to lag glas.

INDTRYK:

Rummet har en introvert atmosfære, der giver mulighed for ro og fordybelse. Lys- og skyggespillet er et stærk element i rummet. Foranderligheden i dette og det dragende i de præcist formede skyggers vandring over de organiske former skaber et stærkt indtryk. Rummet fremhæver foranderligheden og dynamikken i dagslysets uendelig mange karakterer.

RUM

FACADEN SOM RUMGENERATOR



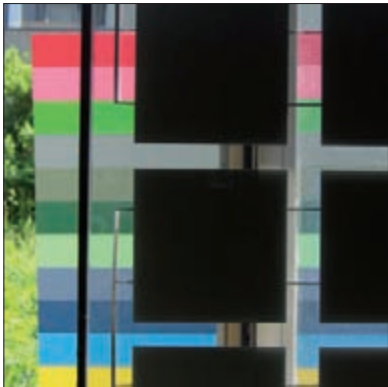
FACADE

KOMPONENTEN SOM COLLAGE



KOMPONENT

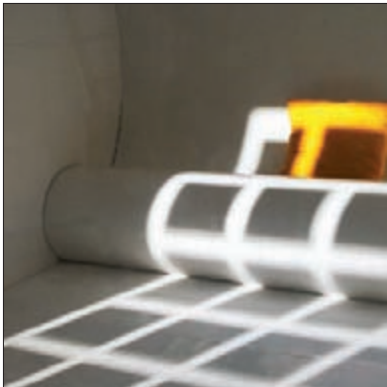
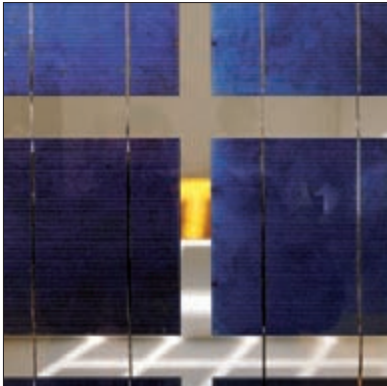
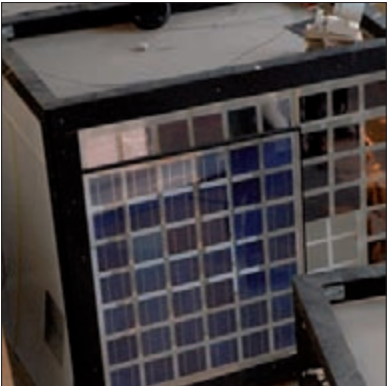
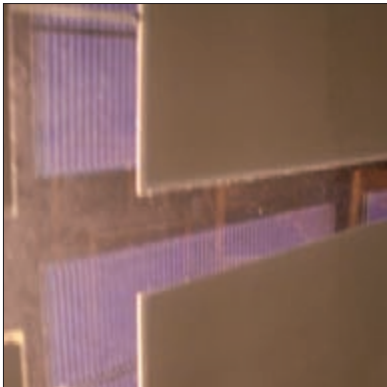
SOLCELLERNE SOM FILTER



KOMMUNIKERENDE

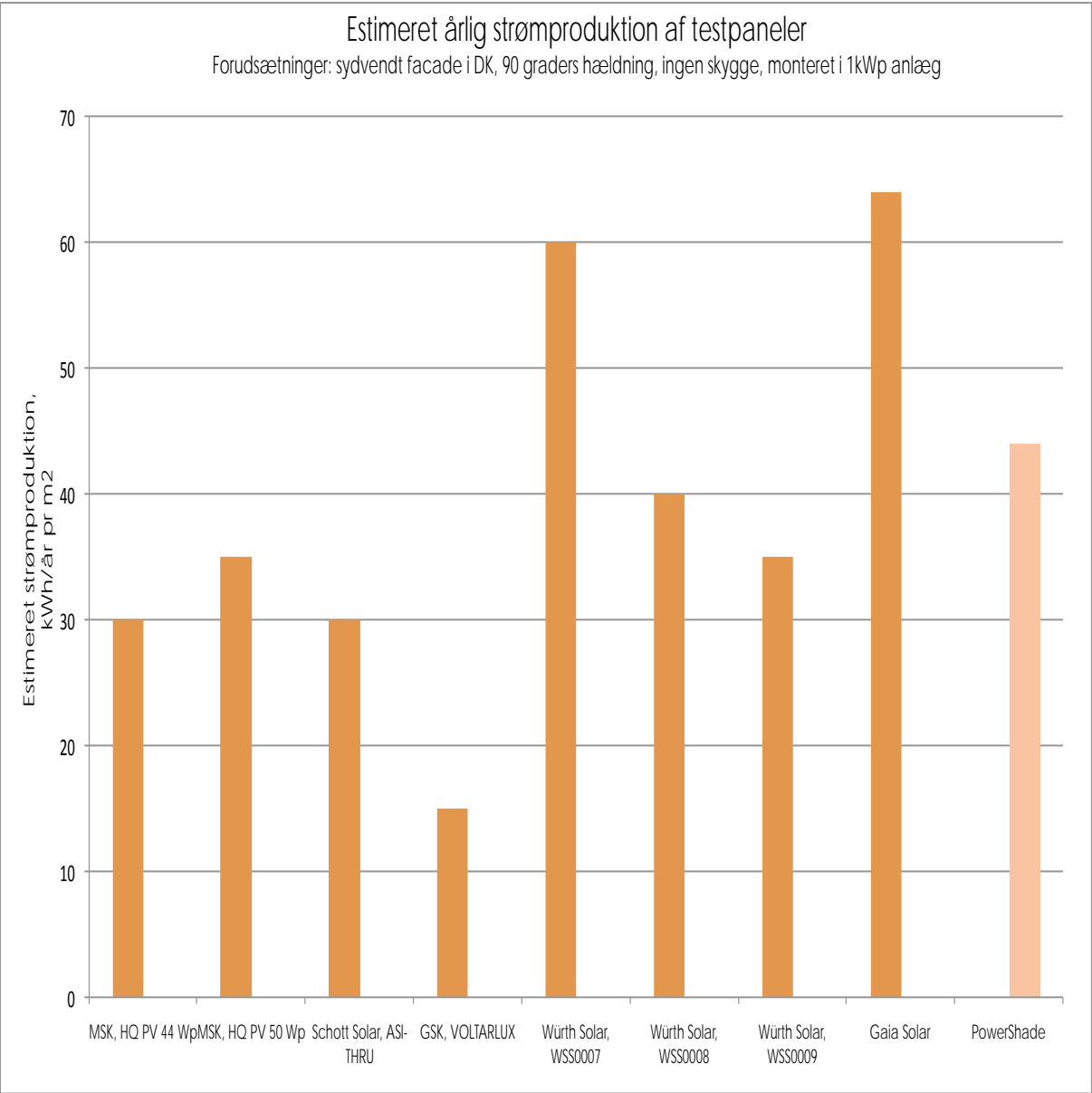


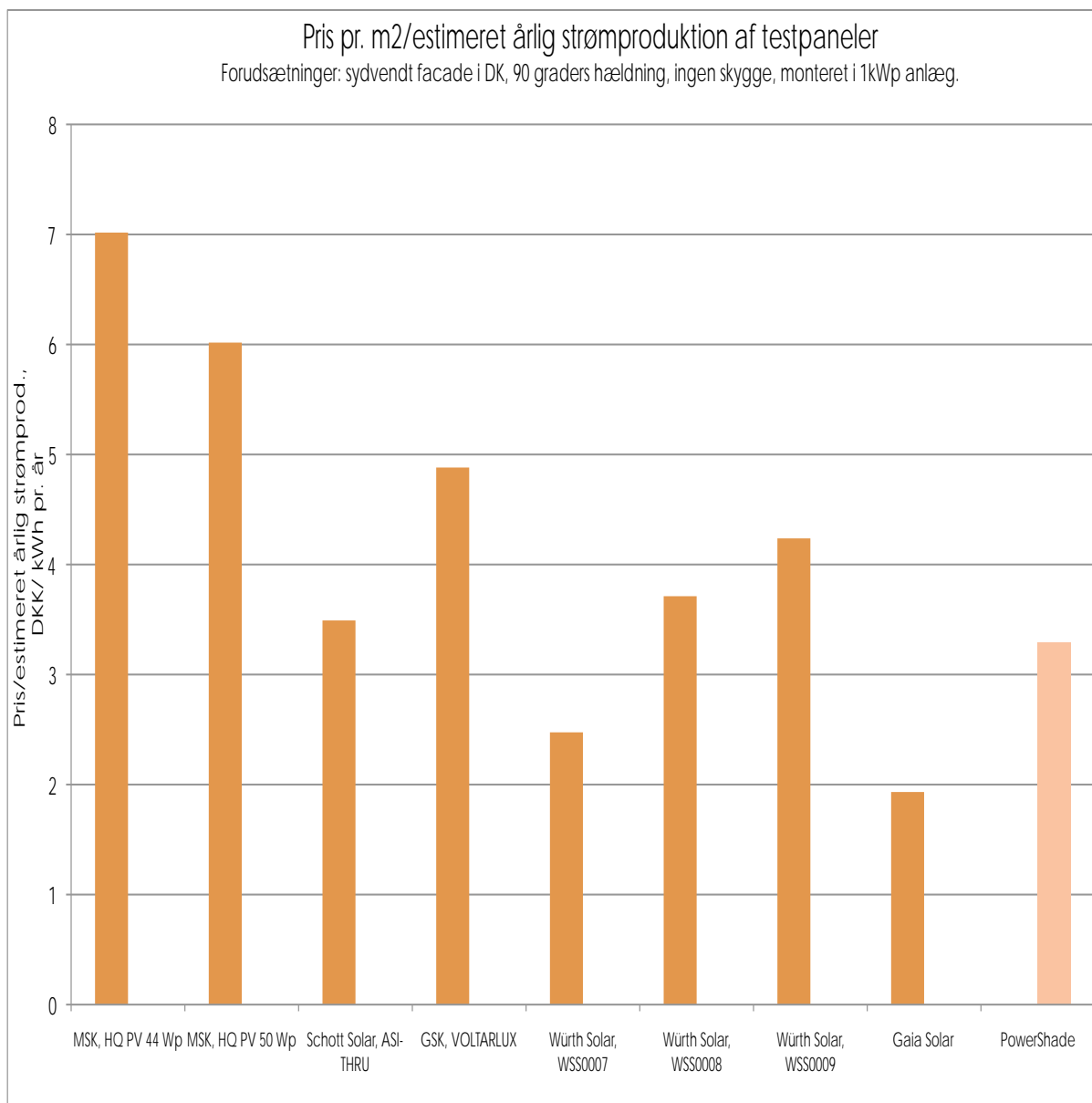
PRODUCERENDE

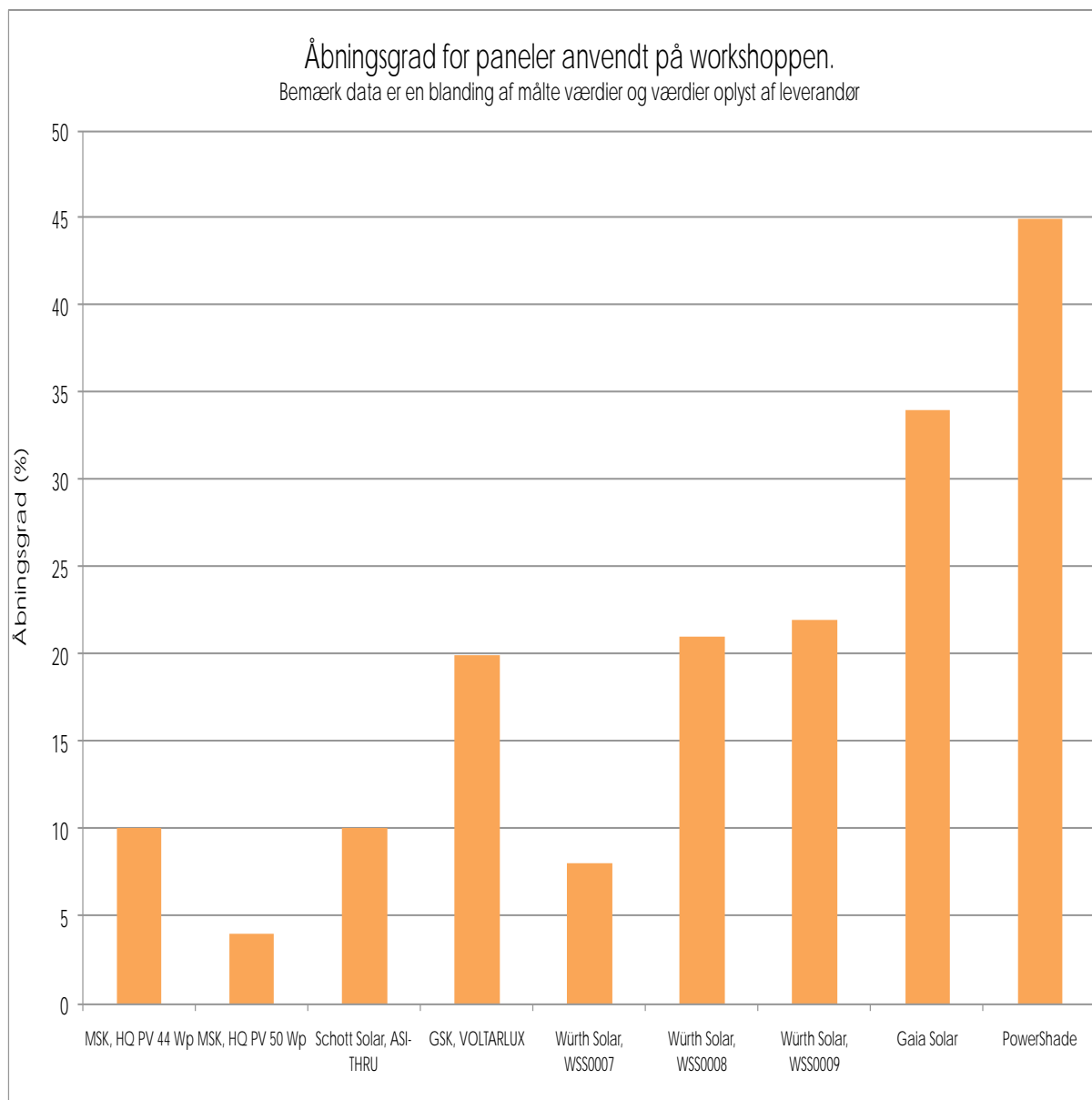


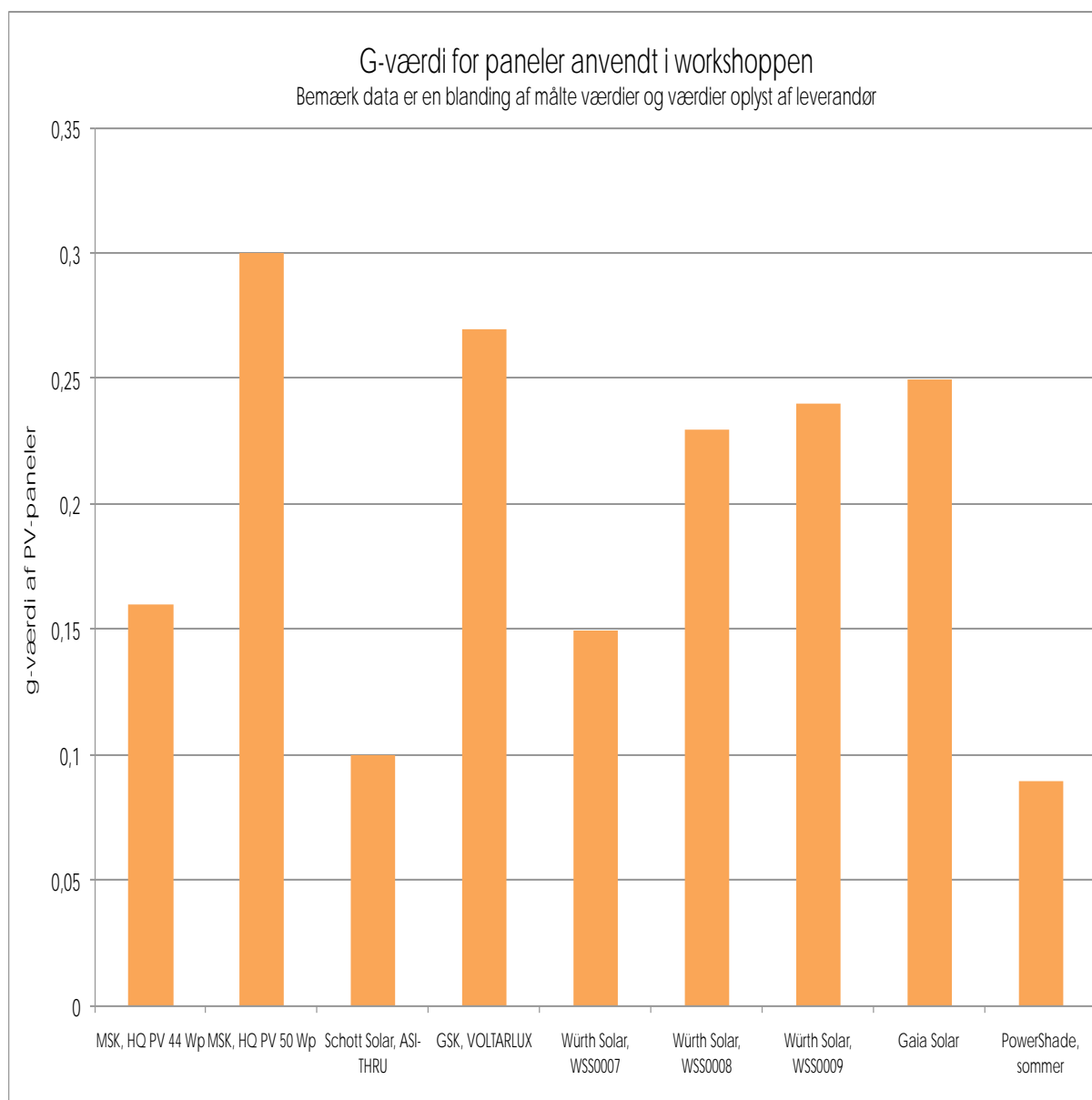
Producent	Produktnavn	Type	Optik		Forventet årlig strømproduktion (kWh)		Relativ pris (DKK)		Kommentar
			Åbnings- grad (%)	g-værdi			Pr. Wp	Pr. m <sup>2</sup>	
					Pr. panel	Pr. m <sup>2</sup>			
MSK	HQ PV Glass, 44 Wp	Si, amorf	10	0,16	30	30	550		Kommerciel
	HQ PV Glass, 50 Wp	Si, amorf	4	0,13	35	35	500	200	
Schott Solar	ASI-THRU	Si, amorf	10	0,10	20	30	300	100	Kommerciel
GSK	VOLTARLUX	Si, amorf	20	0,27	30	15	350	75	Kommerciel
Würth Solar	WSS0007	CIS	8	0,15	45	60	200	150	Kommerciel
	WSS0008	CIS	21	0,23	30	40	300	150	
	WSS0009	CIS	22	0,24	25	35	350	150	
PhotoSolar	Powershade	Si, amorf	45	0,09-0,23	80	44	250	145	Model Værdier er estimeret.
Gaia Solar		Si, poly	34	0,25	100	65	159	124	Kommerciel
Ref, lysmåling	Interpane	Si, multi	49	0,29	50	40	250	100	Kommerciel
Standard mc Si		Si, multi	0		105	105	100	100	Kommerciel
	Data er omregnede fra det passive MicroShade til det aktive PowerShade under forudsætning af samme panelstørrelse.								
	g-værdier målt på DTU hvor solcellen er placeret yderst i en luftfyldt termorude								
	Åbningsgrader målt på DTU								
	Forudsætninger: sydvendt, i DK, hældning på 90 gr (lodret montering), ingen skygger, er velventileret, sættes op i								
	en installation på 1 kWp, tilsluttes elnettet via en moderne og effektiv vekselretter								

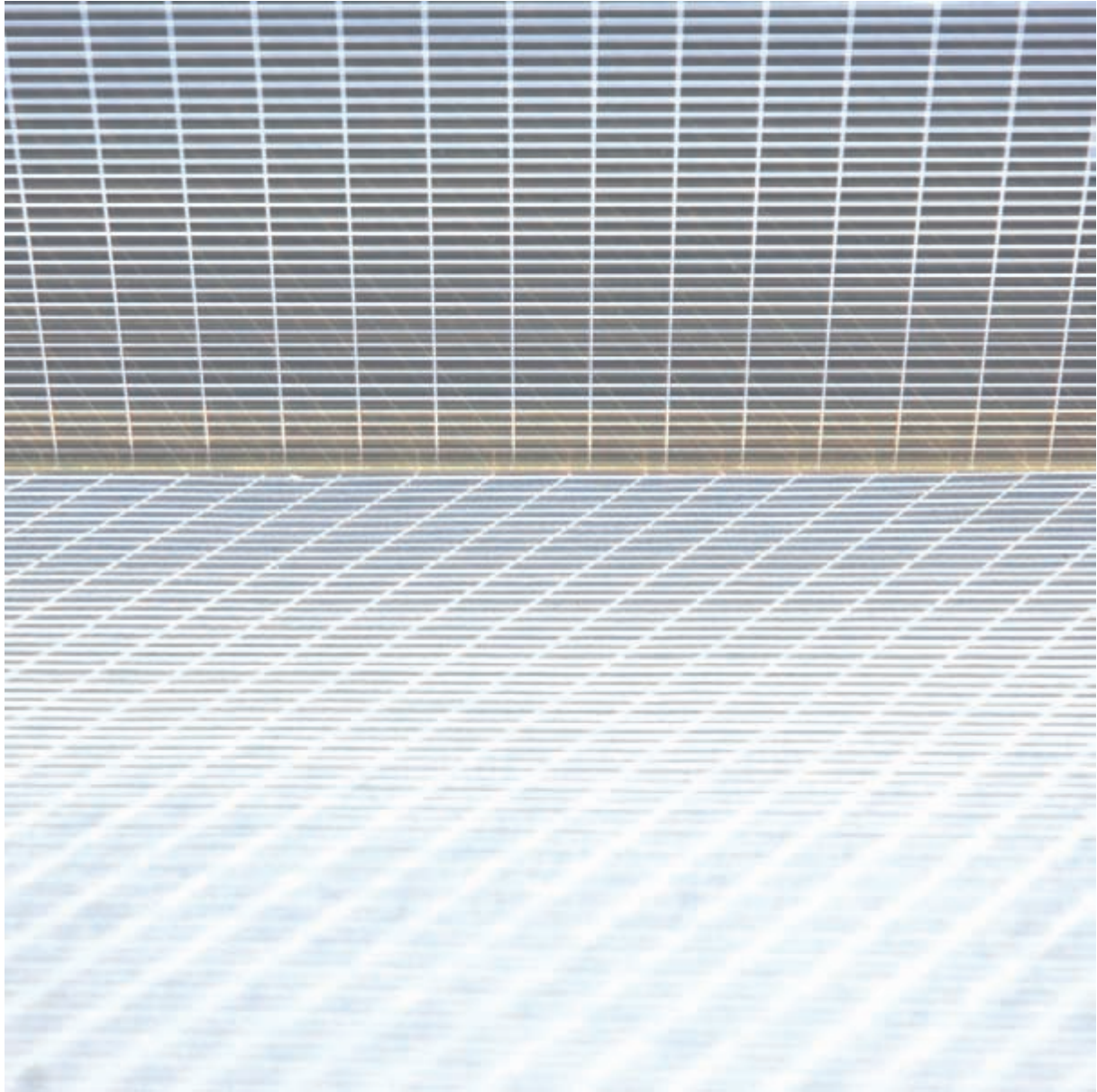












“Det kommunikerende komponent”





## WORKSHOP

### FORMÅL, PROCES OG RESULTAT

Af THOMAS R. HILBERTH, PhD, Dipl. Arch. ETH/SIA/MAA

Når arkitektstuderende på Arkitektskolen Aarhus tilegner sig viden og færdigheder omkring solceller, sker det med henblik på at skabe visioner for fremtidens bæredygtige byggeri ved at udnytte sollysets potentialer såvel æstetisk som teknisk.

Den store udfordring, er at udvikle disse teknologier så de kan integreres i byggeriet i et holistisk perspektiv, hvor energiproduktion, varmeregulering og lysindtag indgår i en arkitektonisk enhed.

På en tre ugers workshop i efteråret 2007 på Arkitektskolen Aarhus deltog en gruppe på omkring 40 internationalt sammensat arkitektstuderende, i det tværfaglige forskningsprojekt, for at undersøge hvordan lysfiltrerende, transparente solceller, ud over at producere energi og regulere indeklima, kan bidrage til et arkitektonisk helhedsbillede.

Workshoppen var et led i arkitektskolens politik om at integrere

forskning i undervisningen og omvendt, undervisning i forskningen.

I tre indledende øvelser udviklede de studerende redskaber til analyse og oplevelse af de æstetiske potentialer, solcellekomponenterne indeholder. Herved opstod en forståelse for en ny byggekomponent og dens muligheder i facadekomposition og rumlige sammenhæng.

De transparente tyndfilmkomponenter blev iscenesat under forskellige lysretninger og lysstyrker samt analyseret i de udtryk, der opstår gennem lys og skyggespil, spejlinger, ornamentik og farver etc.

Gennem kreative undersøgelser med kompositionen af lukkede, åbne og transparente facadeelementer undersøgte de studerende solcellepanelernes muligheder i forskellig målestok og kontekstuel sammenhæng. Blandt andet blev facader af eksisterende bygninger, ved simulering, transformeret med de nye energiproducerende byggekomponenter. Digitale collager og fysiske modeller belyste mangfoldigheden og den variation, panelerne åbner for.

Derefter kombineredes komponenternes tekniske værdier med de oplevede æstetiske potentialer. Dette udgjorde parametrene for de 6 studentergrupper til udvikling af en holistisk programmering af 6 rumstore modeller. Udgangspunkt for modellerne dannedes af en given, konstruktiv ramme på hjul, indenfor hvilken de rumlige fænomener skulle udfolde sig. Gennem præcise installationer i disse mobile rammekonstruktioner fremhævede de studerende særlige æstetiske aspekter af de transparente tyndfilmsolcellepaneler i et skalaløst, men tilgængeligt rum. Rummodellerne blev senere vurderet af en tværfaglig ekspertgruppe og præsenteret for det internationale publikum i en åben udstilling på Arkitektskolen Aarhus.



Mock up, PowerShade, Gruppe 5



Øvelse, "Den kommunikerende facade", solceller på eksisterende facade

**GRUPPE 1** opererede med to bevægelige solcellepaneler fra MSK som, ved hjælp af betonstøbte modvægter, kunne skydes op og ned foran fire åbninger til et enkelt, rektangulært rum. Atmosfæren i rummet styres blandt andet gennem panelernes placering foran den farvelagte sydvendte facade, dennes farve kan opleves inde i rummet, i kraft af solcellepanelernes refleksion af lyset. En spejleffekt som ville kunne forstærkes og varieres ved indbygning af en dynamisk lyssætning med f.x. LED. Facadens fleksibilitet i samspil med solens gang i dagens og årets løb, åbner op for en mangfoldighed af muligheder for at regulere stemninger i rummet. Gennem åbne, lukkede og translucente facadedele forbedres også mulighederne for at styre rummets indeklima.

**GRUPPE 2** arbejdede med Schott Solar paneler, som blev installeret på et rektangulært rums øst- og vestfacade. Panelerne installeredes diagonalt overfor hinanden så man udnyttede deres spejlende egenskaber og rummet derved visuelt blev udvidet. Også her kunne solcellepanelerne samt et lukket træpanel skydes op og ned over en facadeåbning. Panelerne bruger hinanden som modvægt, men kører ellers i tre uafhængige rammer på hver side. Det betyder, at de også kan skydes over hinanden samt at de regulerer lysindfaldet gennem forskellige grader af transparens. Kontrasten mellem det diffuse lys gennem solcellepanelerne og det direkte lys bliver brugt til effektivt at iscenesætte rummet. Solcellerne er ikke optimalt placeret i forhold til en forventet energiproduktion og vil skygge



Mock up, Würth Solar, Gruppe 4







Arkitektoner under opførelse

for hinanden i nogle åbningspositioner. Løsningen giver dog en større fleksibilitet i brugen af rummet.

**GRUPPE 3** valgte at fokusere på de translucente egenskaber af et GSK solarcellepanel i et introvert, rektangulært rum uden transparente åbninger. Lyset er diffust, og bliver reguleret gennem en bevægelig opak skærm, som sidder bag solcellepanelet. Panelet regulerer lysets yderlige indtrængen i rummet. Den bevægelige skærm bestemmer, alt afhængig af sin position, solcellepanelets synlighedsgrad ind i rummet.

**GRUPPE 4** integrerede 6 Würth paneler i deres rumlige bearbejdning af opgaven under udnyttelse af panelernes

meget spejlende inderside. To gange 3 paneler placeres på modstående facader (øst – vest), og udvider visuelt rummet, som man kender det f. x. fra en barbersalon. En tredje facade er opdelt i vertikale, skråt stillede lameller som filtrerer sidelystet. Spejlingerne i rummet forstærkes ved at spejlingen af lamellerne i solcellepanelerne skaber forskellige oplevelser af lukket og åbent afhængigt af, om man spejler sig i panelerne mod øst eller vest. I den fjerde facade af det rektangulære rum befinder sig en rund åbning, som tjener som indgang. Lyset kan yderlige reguleres gennem tolv lukkede skydepaneler, som er placeret ved siden af solcellepanelerne. Disse åbninger lukker enten rummet fuldstændig, eller muliggør direkte lysindtag, respektive udsyn fra rummets indre.







Mock up, MSK, Gruppe 1



For at understrege rummets poetiske karakter som fremkaldes gennem lys og spejlinger, blev der placeret en gyngende i rummets centrum.

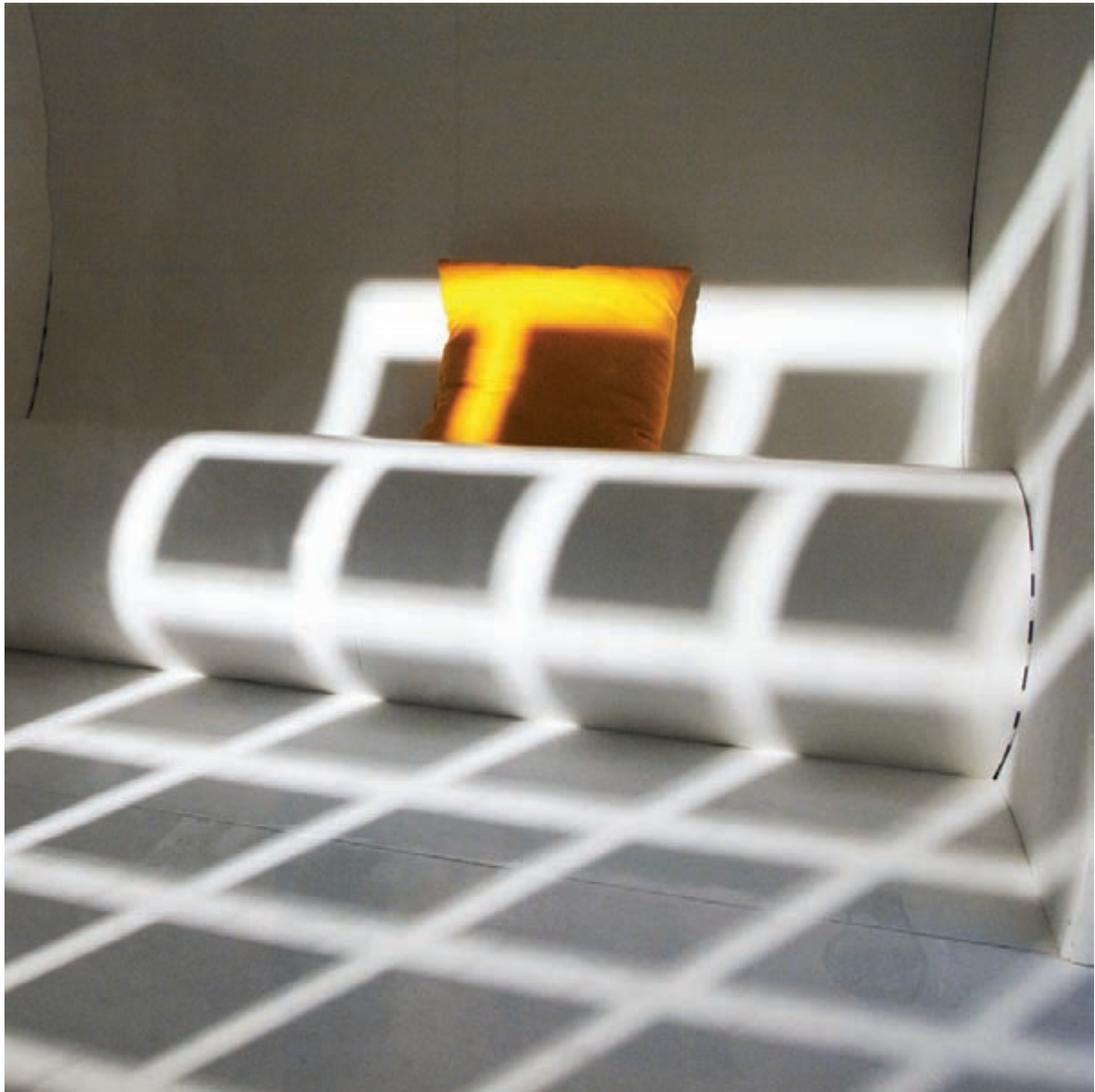
Modellens yderside, facaden, fremtræder helt sort og homogen, idet solcellernes yderside også er sort, og gruppen valgte at male modellen sort. På denne måde opstår en spændingsfyldt "black-box" med to "high-tech-facader" af solcellepaneler.

**GRUPPE 5** undersøgte de æstetiske egenskaber i PhotoSolar-paneler. I dette projekt har der været fokus på selve panelet og udviklingen af en ny struktur af solcellerne i panelet. Det nye panel er monteret i modellens rektangulære rum, med det eksisterende panel i modstående væg, hvilket giver fin mulighed for at sammenligne, hvordan forskelligt de to strukturer påvirker rummet. Rummets to andre sider bliver lukket af en hvid væg, som tjener som projektionsflade for panelernes skygge på den ene side, og et sort gardin på den modsatte side. Der er derimod ikke arbejdet indgående med, hvordan rummet som helhed påvirkes af solcellens placering i facaden. Observationen er, at den eksisterende, horisontale opstribning virker dominerende for rummet, da den er meget retningsgivende. Mønsteret der er udviklet, er fascinerende, og angiver en fin struktur og behagelig skala, men er også meget dominerende for rummets karakter. Det ville i praksis nok skulle suppleres med en indvendig afskærmning. Både pga. at solcellen ikke skærmer ret meget for lyset, men også fordi mønstret er meget dominerende.

**GRUPPE 6** arbejdede med et enkelt Gaia Solar panel. De studerende vurderede de eksisterende siliciumwafers størrelse som problematiske i facadeintegration, da de relativt store solceller i glasset skaber en kontrastfuld flade. Derfor har gruppen arbejdet med ekstra lag, filtre, der bløder denne kontrast op.

En skærm er udformet som det negative mønster af solcelleruden, og en anden danner en lukket translucent flade med en åbning i midten.

Herudover er der arbejdet med rummets form, idet bagvæggen har en buet form, der får gulv, væg og loft til at udgøre en blød bevægelse. Denne form bliver meget udtryksfuld, når de kontrastfyldte skygger fra solcellepanelet og filtre tegnes på den.



Mock up, Gaia Salor, Gruppe 6



## APPENDIX

### BEGREBSFORKLARING

#### LYSTEKNISKE GRUNDBEGREBER

#### BELYSNINGSSTYRKEN

Måles i lux. Beskriver hvor meget lys der er inde i rummet.

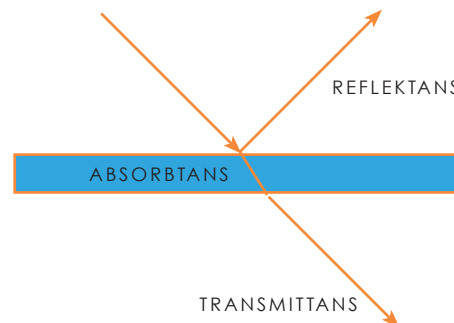
SBI måler belysningsstyrken i en linje fra vinduesvæggen til bagvæggen langs arbejdsområdet på et vandret plan 0,85 m over gulv. Dagslysfaktoren er et mål for hvor meget lys der er inde i forhold til hvor meget lys der er udenfor på et vandret plan, belyst af en fuld himmelhalvkugle.

#### LUMINANS

Måles i candela pr. m<sup>2</sup>. Et hvidt og et sort stykke papir på en bordplade opfattes helt forskelligt, selvom belysningsstyrken er den samme på de to flader. Det hvide papir reflekterer mere lys mod øjet end det sorte. Som mål for, hvor meget lys der udsendes fra en flade mod øjet, anvendes begrebet luminans. Luminansen alene siger ikke noget om, hvor lys fladen er, men sammenholdt med luminanserne af de øvrige flader i synsfeltet er den et udtryk for, hvor lys fladen opfattes.

#### TRANSMISSION, ABSORPTION, REFLEKSION

Når lys rammer en overflade, deles det i tre dele. Én del tilbagekastes (reflekteres), en anden del opsuges (absorberes), og en tredje del går igennem fladen (transmitteres). For ugenemskinnelige flader indtræffer kun de to første dele.



Definition af reflektans, absorptans og transmittans.

Det er en flades evne til at reflektere lyset, der bevirker, at den kan ses, hvis den ikke selv lyser. Som mål for fladens evne til at reflektere lyset anvendes begrebet reflektans. Lys reflekteres på forskellig måde afhængig af fladens struktur. En blank-poleret metalflade virker som et spejl, og denne form for refleksion benævnes som 'spejlende'. En helt mat overflade vil reflektere lyset, så det spredes i alle retninger.

Transmittans kan angives i % eller som decimaltal. Sollystransmittans (LT) angiver forholdet mellem lysstrømmen på en flade umiddelbart inden for, og uden for vinduet med et areal svarende til den synlige del af rudens areal. Solenergitransmittans (TST eller g-værdi) for en rude angiver forholdet mellem den solenergi, der afgives til rummet bag ruden, og den samlede sol-energi, der rammer den synlige del af rudens areal udefra.

## ENERGITEKNISKE GRUNDBEGREBER

### ELEKTRISK VIRKNINGSGRAD

beskriver hvor effektivt solcellepanelerne konverterer sollysets energi til elektrisk energi.

### TERMISK INDEKLIMA

beskriver temperaturforholdene i et rum. Termiske indeklimaparameter består af: lufttemperatur, strålingstemperatur (overfladetemperaturen af især vinduer), lufthastighed og luffugtighed

### SOLENS STRÅLER

Solens stråler er elektromagnetisk stråling der giver lys og varme. Den samlede stråling er lig den samlede mængde reflekteret, absorberet og transmitteret lys. Til bestemmelse af indeklimaet, lys og varme, defineres hvor stor en del af solens stråler der reflekteres, absorberes og transmitteres i ruden. Fordelingen afhænger af materialets transmittans, overfladebehandling og tykkelse samt lysets bølgelængde og indfaldsvinkel

Strålingen ligger i bølgeområdet fra ca. 300 til 3000 nm. Ca. halvdelen af strålerne kan vi se med det blotte øje.

### G-VÆRDI

Udtryk for tilskud af passiv solvarme gennem ruden. Jo højere g-værdi, jo mere solvarme passerer gennem ruden ind i huset. g-værdien gangen med den mængde solenergi, der rammer vinduets udvendige overflade.

### LT-VÆRDI

Udtryk for sollys-gennemgang – det synlige lys. Jo højere LT-værdi, jo større procentdel af det synlige sollys passerer gennem ruden ind i huset.

### U-VÆRDI

Udtryk for varmetabet gennem rudens midte. Jo lavere U-værdi, jo mindre varmetab eller bedre isoleringsevne

### Wp

Wp er en forkortelse af Watt Peak (Peak = spids), som er et internationalt vedtaget mål for et solcellepanels ydelse under standardiserede forhold, dvs. tillader direkte sammenligning af paneler af forskellig størrelse og type.





Øvelse, "Det kommunikerende rum"

## ARKITEKTONISKE GRUNDBEGREBER

### ARKITEKTON

Skala og retningsløst arkitektonisk model som illustrerer rummets kvaliteter og egenskaber.

### FACADE

Forsiden af en bygning, det repræsentative og skærmende. En sammenstilling/komposition/gentagelse af komponenterne og deres mønstre og variationer så der opstår et facadeudtryk oplevet udefra. Traditionelt er facaden komponeret med fokus på de kommunikerende værdier.

### KOMPONENT

Det enkelte element, der udgør et led i flere samvirkende elementer, der tilsammen udgør facaden. I Lys & Energi er komponenten det transparente solcellepanel, der er integreret i et vindue.

### RUM

Rummet er det tre dimensionelle rum der opstår bag facaden. Bygningens indre. Traditionelt er rummet skabt med fokus på funktion og den fysiske form. Det filtrerede lys gennem solcellekomponenten i facaden opleves indefra og er med til at forme rummet.

### TRANSPARENS

Transparens er et centralt begreb inden for moderne kunst og arkitektur. Begrebet er op gennem det 20. århundrede blevet udviklet og benyttet til teoretisk at definere den moderne traditions fornemmelse for form og rum.



## LITTERATURLISTE

Daylight & Architecture, Autumn 2006, Issue 04

Daylight & Architecture, Summer 2006, Issue 06

Facaden, teori og praksis, Kunstakademiets Arkitekt-  
tskoles Forlag 2003

Flow, optimaloplevelsens psykologi, Mihaly Csik-  
szentmihalyi, Dansk psykologisk Forlag 2005

The Funktion of Ornament, Farshid Moussavi and  
Michael Kubo, Harvard University, ACTAR

Louis I. Kahn, Licht und Raum, Light and Space, Urs  
Büttiker, Birkhäuser 1993

Perception and Lighting as Formgivers for Architec-  
ture, William M. C. Lam, McGraw-Hill 1977

RUM analyser, red. Bek og Oxvig, Fonden til udgiv-  
else af Arkitekturdsskriftet B

SOLCELLER + ARKITEKTUR – en guide til anvendelse  
af solceller i byggeriet, Arkitektens Forlag 2004

Transparency, Colin Rowe and Robert Slutzky,  
Birkhäuser 1997

Words and Buildings, a vocabulary of Modern  
Architecture, Adrian Forty, New York 2000



Øvelse, "Den kommunikerende facade"



## WORKSHOPDELTAGERE

### GROUP 1:

BRAM ALEXANDER DAVID ANDERSEN  
HELENE CHEMNITZ BJERREGAARD  
FRANK HØYVIK GARTEN  
CHRISTEN BUGGE HJORTH  
TIM NØRLUND JENSEN  
JIMMY SIENKO LARSEN

### GROUP 2:

TRINE BROE RASMUSSEN  
MALTE GRÖNER  
BRIAN SEJER WÜRTZ BENDSEN  
EDMOND JENSEN DIETZ  
AGNIESZKA CIEPLOCH FISCHER  
TINA FISCHER-HENRICHSEN

### GROUP 3:

SIGNE NIELSEN KJÆR  
LÁRA KRISTJANA LÁRUSDÓTTIR  
MAJA MATZEN  
MARION ALLIER  
MARTIN TOBIAS LINDQVIST OTTOSSON  
MARIA TABOADA MORENO  
CLARA BRINNING

### GROUP 4:

ALEXANDER GEORG ANDERSSON  
METTE GRISELL  
CECILIE HAVE HØRLYCK  
JONAS RIIS JENSEN  
JOHANNE TAUGBØL  
ALMUD KREJZA  
WIN VAN DER BERGE

### GROUP 5:

CAMILLA BUNDGAARD  
METTE HØNHOLT JENSEN  
PETER STOLTZE SINDBERG  
HENRIK VEJE JACOBSEN  
ANTONIE SPECHT

### GROUP 6:

LÆRKE MUNK  
MADS BJERRE OLESEN  
GONZALO SEBASTIAN ALFARO  
SOFIA KRISTINA ANDERSON  
MATTHIEU PALMA  
IGNACIO MANUEL RODRIGUEZ CORNEJO

### UNDERVERISERE:

ELLEN KATHRINE HANSEN, LEKTOR, ARKITEKT MAA  
KIRSTEN BIRK HANSEN, EKSTERN LEKTOR, ARKITEKT MAA  
THOMAS R. HILBERTH, PhD, DIPL. ARCH. ETH/SIA/MAA

## PROJEKTMEDARBEJDERE

i forskningsprojektet

'LYS OG ENERGI, solceller i transparente facader'

### ARKITEKTSKOLEN AARHUS

ELLEN KATHRINE HANSEN, PROJEKTANSVARLIG

THOMAS R. HILBERTH

LÆRKE MUNK

### TEKNOLOGISK INSTITUT

HANNE LAURITZEN, PROJEKTLEDER

SIGNE DAHL WEDEL

SØREN Ø. JENSEN

### STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

JENS CHRISTOFFERSEN

KJELD JOHNSEN

### VELFAC VINDUER

EIRIK BJØRN



Præsentation, workshop, november 2007, AAA

